

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

SIMULACIÓN ACÚSTICA DE RECINTOS:
CALIBRACIÓN DEL MODELO VIRTUAL MEDIANTE
HERRAMIENTA COMPUTACIONAL BASADA EN ALGORITMOS
GENÉTICOS.



Grado en Ingeniería
en Tecnologías de Telecomunicación

Trabajo Fin de Grado

Autor: Garbiñe Fernández Lansalot.

Tutor: Ricardo San Martín Murugarren.

Pamplona, 1 de julio de 2016

INDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
PLANIFICACIÓN	4
LISTA DE PALABRAS CLAVE.....	5
CAPÍTULO 1 Introducción.....	6
1.1. ESTADO DEL ARTE.	7
1.1.1. INTRODUCCIÓN.	7
1.1.2. HISTORIA DE LA COMPUTACION EVOLUTIVA.....	7
1.1.3. INTRODUCCION A LOS ALGORITMOS GENÉTICOS.....	9
1.1.4. ALGUNOS CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS.....	11
1.1.5. ALGORITMOS GENÉTICOS EN ACÚSTICA DE SALAS.	12
1.2. HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DE COEFICIENTES DE ABSORCIÓN EN ODEON (GENETIC MATERIAL OPTIMIZER).	19
1.2.1. INTRODUCCION A “GENETIC MATERIAL OPTIMIZER”.	19
1.2.2. REALIZAR UN OPTIMIZACIÓN DE MATERIALES.	19
1.3. CONCEPTOS TEÓRICOS.	25
1.3.1. PARÁMETROS DERIVADOS DE LA IR.	25
1.3.2. JUST NOTICEABLE DIFFERENC, JND.	28
1.3.3. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE MATERIALES.....	29
CAPÍTULO 2 Análisis sala test.	30
2.1. INTRODUCCIÓN.....	31
2.2. PLANIFICACION.	31
2.3. DESCRIPCION DE LA SALA TEST.....	32
2.4. AJUSTE MANUAL DE LA SALA TEST.	33
2.4.1. PROCEDIMIENTO DEL AJUSTE MANUAL.....	33
2.4.2. OBTENCION DE UNA FUNCIÓN FITNESS REPRESENTATIVA.	40
2.4.3. COMPARACIÓN MEDIANTE LA FUNCIÓN FITNESS.	49
2.5. AJUSTE AUTOMÁTICO DE LA SALA.....	52
2.5.1. ANÁLISIS DEL AJUSTE AUTOMÁTICO.	52
2.5.2. AJUSTE AUTOMÁTICO DE LA SALA (MEDIANTE LA HERRAMIENTA “GENETIC MATERIAL OPTIMICER”)	60

2.6. CONCLUSIONES.....	71
CAPÍTULO 3 Ajuste automático en varias salas.....	73
3.1. INTRODUCCIÓN.....	74
3.2. PLANIFICACIÓN.....	74
3.3. DESCRIPCION DE LOS AUDITORIOS A AJUSTAR.....	75
3.3.1. AUDITORIO BALUARTE.....	75
3.3.2. TEATRO BRETÓN DE LOS HERREROS.....	77
3.3.3. TEATRO GAYARRE.....	80
3.3.4. AUDITORIO KURSAAL.....	82
3.3.5. AUDITORIO MOZART.....	85
3.4. AJUSTES DE LAS SALAS.....	88
3.5. COMPARACION DE TODOS LOS DISTINTOS AJUSTES MEDIANTE LA FUNCIÓN FITNESS Y LA FUNCIÓN COMPARACIÓN DE MATERIALES.....	89
CAPÍTULO 4 Conclusiones finales y líneas futuras.....	93
4.1. CONCLUSIONES.....	94
4.2. LÍNEAS FUTURAS.....	96
REFERENCIAS.....	97

RESUMEN

En el modelo virtual de un recinto, la inexactitud o incluso el desconocimiento de los coeficientes de absorción de los materiales utilizados es una de las principales fuentes de incertidumbre. Si el recinto está construido, es recomendable realizar medidas de control que sirvan para ajustar esos coeficientes, de forma que los valores de los parámetros acústicos medidos y simulados coincidan. Este proceso requiere normalmente muchas iteraciones y puede resultar complicado alcanzar un ajuste razonable. En este proyecto, lo que se pretende es evaluar la potencialidad para realizar este proceso con una herramienta de calibración basada en algoritmos genéticos.

ABSTRACT

In the modeling of a room, inaccuracy or even ignorance of the absorption coefficients of the materials used is one of the main sources of uncertainty. If the room is built, it is always recommended to take control measures that will serve to adjust these coefficients, so that the measured values match whit the simulated values. This process usually requires many iterations and can be difficult to have reasonable results. The aim of this project is to evaluate the potential of a calibration tool based on genetic algorithms, to do this process.

PLANIFICACIÓN

- Estudio de la bibliografía existente.
 - Proceso de calibración del modelo virtual en la simulación de recintos.
 - Modelos computacionales basados en algoritmos genéticos.
- Estudio y análisis de la herramienta de calibración (ODEON) con medidas en una sala test.
 - Caracterización exhaustiva mediante medidas de un recinto.
 - Creación de un modelo virtual.
 - Calibración del modelo mediante algoritmos genéticos y análisis de su grado de ajuste.
- Comparación entre ajuste manual y automático.
 - Selección de salas a evaluar: análisis de datos medidos y simulados.
 - Optimización mediante algoritmos genéticos en salas ya modelizadas.

LISTA DE PALABRAS CLAVE

- **Optimización de coeficientes de absorción** / Optimization of absorption coefficients.
- **Algoritmo genético** / Genetic algorithm.
- **Acústica de salas** / Room acoustic.
- **Herramienta de simulación acústica** / Acoustic simulation tool.
- **Optimizador de material genético** / Optimization of absorption coefficients.



CAPÍTULO 1 Introducción.

1.1. ESTADO DEL ARTE.

1.1.1. INTRODUCCIÓN.

La capacidad del ser humano para predecir el comportamiento de su entorno, se ha ido incrementando con el paso del tiempo. De igual modo, ha comprendido que, si bien era capaz de controlar muchos aspectos de su vida y su interacción con lo que le rodeaba, no lo era para otros tantos. La inteligencia artificial es responsable de muchos de esos logros. Los pioneros de esta ciencia estaban tan interesados en la electrónica como en la biología, y por eso sus aplicaciones iban desde calcular trayectorias de misiles, a tratar de modelizar el cerebro, de imitar el proceso de aprendizaje humano y de simular la evolución biológica.

Los años ochenta marcan el aumento del interés de la comunidad científica por estos temas computacionales inspirados en la biología, que han visto como su desarrollo les llevaba a niveles inimaginables, primero en el campo de las Redes Neuronales, luego en el del Aprendizaje, y por último en lo que ahora se conoce como “computación evolutiva”, de la que los algoritmos genéticos constituyen su máximo exponente.

1.1.2. HISTORIA DE LA COMPUTACION EVOLUTIVA.

El término de computación evolutiva se refiere al estudio de los fundamentos y aplicaciones de ciertas técnicas heurísticas basadas en los principios de la evolución natural Tomassini, 1995 [1]. Estas técnicas heurísticas podrían clasificarse en 3 grandes categorías o grupos: Estrategias evolutivas, programación evolutiva y algoritmos genéticos. De estas tres categorías parten los caminos hacia todos los campos de investigación inspirados en nuestros conocimientos sobre Evolución.

El origen de la computación evolutiva comienza gracias a la intuición de algunos científicos de que los conocimientos sobre la evolución se podían aplicar a la resolución de problemas de optimización. En las décadas de 1950 y 1960 varios científicos, de modo independiente, comenzaron a estudiar los sistemas evolutivos. La idea era evolucionar una población de candidatos a ser solución de un problema conocido, utilizando operadores inspirados en la selección natural y la variación genética natural.

Fue Rechenberg quien, en la década de 1960 (1965, 1973) [2] introdujo las “estrategias evolutivas”, método que empleó para optimizar parámetros reales para ciertos dispositivos. La misma idea fue desarrollada posteriormente por Schwefel (1975, 1977). El campo de las estrategias evolutivas ha permanecido como un área de investigación activa, cuyo desarrollo se produce, en su mayor parte, de modo independiente al de los algoritmos genéticos.

Fogel, Owens y Walsh (1966) [3], fueron los creadores de la “programación evolutiva”, una técnica en la cual las candidatas a soluciones a tareas determinadas, eran representadas por máquinas de estados finitos, cuyos diagramas de estados de transición se evolucionaban mediante mutación aleatoria, seleccionándose el que mejor aproximara. Una formulación más amplia de la programación evolutiva es un campo de investigación que también continúa en activo.

La primera mención del término Algoritmo Genético y la primera publicación sobre una aplicación del mismo, se deben a Bagley (1967), que diseñó algoritmos genéticos para buscar conjuntos de parámetros en funciones de evaluación de juegos, y los comparó con los algoritmos de correlación, procedimientos de aprendizaje modelizados después de los algoritmos de pesos variantes de ese periodo. Pero es otro científico el considerado creador de los Algoritmos Genéticos: John Holland, que los desarrolló, junto a sus alumnos y amigos, durante las décadas de 1960 y 1970. En contraste con las estrategias evolutivas y la programación evolutiva, el propósito original de Holland no era diseñar algoritmos para resolver problemas concretos, sino estudiar, de un modo formal, el fenómeno de la adaptación tal y como ocurre en la naturaleza, y desarrollar vías de extrapolar esos mecanismos de adaptación natural a los sistemas computacionales. El libro que Holland escribiera en 1975 *Adaptación en Sistemas Naturales y Artificiales*, presentaba el algoritmo genético como una abstracción de la evolución biológica, y proporcionaba el entramado teórico para la adaptación bajo el algoritmo genético. El Algoritmo Genético de Holland era un método para desplazarse, de una población de cromosomas (bits) a una nueva población, utilizando un sistema similar a la selección natural junto con los operadores de cruces, mutaciones e inversión inspirados en la genética.

La mayor innovación de Holland fue la de introducir un algoritmo basado en poblaciones con cruces, mutaciones e inversiones. Es más, Holland fue el primero en intentar colocar la computación evolutiva sobre una base teórica firme (Holland, 1975) [4]. Hasta hace poco, esta base teórica, fundamentada en la noción de esquemas, fue la estructura sobre la que se edificaron la mayoría de los trabajos teóricos sobre algoritmos genéticos en las décadas siguientes. Tras Holland continuó Goldberg 1987 [5] en la década de los 80.

En estos últimos años se ha generado una amplia interacción entre los investigadores de varios métodos de computación evolutiva, rompiéndose las fronteras entre algoritmos genéticos, estrategias evolutivas y programación evolutiva. Como consecuencia, en la actualidad, el término “algoritmos genéticos” se utiliza para designar un concepto mucho más amplio del que concibió Holland.

1.1.3. INTRODUCCION A LOS ALGORITMOS GENÉTICOS.

Los algoritmos genéticos son métodos empleados para resolver problemas de búsqueda y optimización de parámetros. Estos se basan en comportamientos biológicos como son los procesos genéticos de los seres vivos (selección natural, junto con los operadores de cruces, mutaciones e inversión).

“De cada especie nacen muchos más individuos de los que pueden sobrevivir, como consecuencia de esto se produce una lucha por la vida en la que los individuos mejor adaptados tendrán más probabilidades de sobrevivir, y, de ser así, serán naturalmente seleccionados. Según el poderoso principio de la herencia, toda variedad seleccionada tenderá a propagar su nueva y modificada forma.”: principio de la selección natural. (Darwin)[5].

Los algoritmos genéticos extrapolan este comportamiento natural para resolver problemas de la vida real y son aplicables a una gran variedad de ámbitos hoy en día.

Los algoritmos genéticos trabajan con un conjunto de individuos (población), cada uno de ellos una solución a un problema dado. Cada una de estas soluciones o individuos tendrá un valor que será mayor o menor en función de lo buena o mala que sea dicha solución, siguiendo con la analogía con el mundo real esto equivaldría a lo bueno que sea un organismo para competir por cierto recurso. Cuanto más adaptado este un individuo este tendrá mayor probabilidad de ser seleccionado para reproducirse con otro individuo, que también será seleccionado de igual manera, y con este cruce se mezclaran sus materiales genéticos produciendo nuevos individuos (descendientes), que compartirán ciertas características con sus progenitores. Cuanto menos adaptado esté un individuo menor probabilidad tendrá de ser elegido para la reproducción y en consiguiente menor probabilidad de que su material genético se propague en sucesivas generaciones. De esta manera obtenemos una nueva población (conjunto de individuos / posibles soluciones), con una mayor proporción de buenas características en comparación con la población anterior. A lo largo de las generaciones las buenas características de cada individuo se van propagando a través de la población. Favoreciendo el cruce de los individuos mejor adaptados se van obteniendo mejores soluciones. Por lo que el algoritmo genético deberá converger hacia una solución óptima del problema propuesto.

Ventajas

La principal ventaja de los algoritmos genéticos proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta, y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que otros métodos encuentran dificultades.

Aunque no se pueda garantizar que el algoritmo genético nos proporcione la solución óptima, existen evidencias empíricas de que nos proporciona soluciones aceptables y en un tiempo más reducido que otros algoritmos de optimización combinatoria.

Otra de las ventajas de los algoritmos genéticos y por la cual se han vuelto tan populares es su habilidad y su utilidad para dar solución en un muy complejo espacio de búsqueda con muchos máximos o mínimos (según el caso), sin atascarse en el primer máximo o mínimo local.

Otra de sus ventajas, y por la que los algoritmos genéticos se pueden aplicar en una gran variedad de soluciones es que no necesitan conocimientos específicos sobre el problema que intentan resolver.

Los algoritmos genéticos pueden operar de forma simultánea con varias soluciones, en vez de trabajar de forma secuencial como las técnicas tradicionales.

También resulta sumamente fácil ejecutar los algoritmos genéticos en las modernas arquitecturas masivamente paralelas.

Los algoritmos genéticos usan operadores probabilísticos en lugar de los típicos operadores determinísticos de las otras técnicas.

Desventajas y limitaciones

Si existen técnicas especializadas para resolver un determinado problema, lo más probable es que supere al algoritmo genético, tanto por rapidez como por eficacia.

Para problemas de alta complejidad la función de evaluación de la solución puede volverse demasiado costosa en cuanto a tiempo y recursos. Por ejemplo, existen casos en la vida real para los cuales recrear una simulación de la solución propuesta por una iteración puede tardarse muchos días y consumir gran cantidad de procesamiento y recursos asociados.

Dependiendo de los parámetros que se utilizan para la evaluación el algoritmo, podría no llegar a converger en una solución óptima o bien terminar en una convergencia prematura con resultados no satisfactorios (la convergencia prematura podría significar una convergencia en un óptimo local o punto arbitrario afectando los resultados a largo plazo).

No poseen una buena escalabilidad con la complejidad, por ejemplo, para sistemas que están compuestos de muchas variables, componentes o elementos, su respectivo espacio de búsqueda crece de manera exponencial debido entre otras cosas a las relaciones que puedan surgir. Por ejemplo, el problema del diseño de una aeronave debe desglosarse en representaciones simples como perfiles aerodinámicos tomando en cuenta que la recombinación de los elementos puede perjudicar el rendimiento individual.

La "mejor" solución lo es solo en comparación a otras soluciones por lo que no se tiene demasiado claro un criterio de cuando detenerse ya que no se cuenta con una solución específica.

No es recomendable utilizarlos para problemas que buscan respuesta a problemas que convergen en soluciones simples como Correcto/Incorrecto ya que el algoritmo difícilmente convergerá y el resultado será tan válido como escogerlo al azar.

El diseño, la creación de la función de evaluación, la selección de los criterios de mutación entre otros, necesitan de cierta pericia y conocimiento del problema para obtener buenos resultados.

1.1.4. ALGUNOS CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS.

Los algoritmos genéticos han servido para que los estudios realizados en torno a ellos se hayan aplicado a diversos problemas y modelos de ingeniería, y en la ciencia en general. Se pueden destacar entre ellos:

- **Optimización:** Se trata de un campo especialmente abonado para el uso de los algoritmos genéticos, por las características intrínsecas de estos problemas. Fueron la fuente de inspiración para los creadores de estos algoritmos. Los algoritmos genéticos se han empleado para numerosas tareas de optimización como pueden ser: La optimización numérica, problemas de optimización combinatoria, optimización de diseño de circuitos, optimización de la programación del trabajo en una tienda...
- **Programación automática:** Los algoritmos genéticos se han utilizado para desarrollar programas para tareas específicas y para diseñar otras estructuras computacionales tales como el autómata celular y redes de clasificación.
- **Aprendizaje automático:** Los algoritmos genéticos se usan para muchas aplicaciones del aprendizaje automático, incluyendo las tareas de clasificación y predicción, como pueden ser la predicción del tiempo o las estructuras de las proteínas. Los algoritmos genéticos además se usan para desarrollar algunos aspectos de sistemas particulares de aprendizaje automático como son los pesos para redes neuronales, reglas para el aprendizaje de clasificación de sistemas o sistemas de producción simbólica y sensores para robots.
- **Economía:** En este caso, los algoritmos genéticos se usan para modelizar procesos de innovación, para el desarrollo de estrategias de puja y la aparición de mercados económicos.
- **Sistemas inmunes:** Los algoritmos genéticos se han usado a la hora de modelizar varios aspectos de los sistemas inmunes naturales en los que se incluyen mutaciones somáticas durante el tiempo de vida de un individuo y el descubrimiento de familias de genes múltiples durante el tiempo evolutivo.

- **Ecología:** Los algoritmos genéticos en este campo se han usado para modelar fenómenos ecológicos como la carrera de armamento biológico, la coevolución huésped-parásito, la simbiosis y el flujo de recursos.
- **Genética de poblaciones:** Los algoritmos genéticos se han usado para estudiar cuestiones en genética de poblaciones como “¿Bajo qué condiciones puede ser evolutivamente viable un gen para recombinación?”.
- **Evolución y aprendizaje:** Los algoritmos genéticos se han usado para el estudio de las relaciones entre aprendizaje individual y la evolución de la especie.
- **Sistemas sociales:** Los algoritmos genéticos se han usado para estudiar aspectos evolutivos de los sistemas sociales, tales como la evolución del comportamiento social en colonias de insectos y más generalmente, la evolución de la cooperación y comunicación en sistemas multi-agente.

Además de los ya citados hay muchos otros campos de aplicación, pero con estos se pretende dar una visión global de los campos de aplicación de los algoritmos genéticos y ver su gran utilidad para resolver una gran diversidad de problemas.

Gracias al éxito en estas y otras áreas, los Algoritmos Genéticos han llegado a ser un campo puntero en la investigación actual.

1.1.5. ALGORITMOS GENÉTICOS EN ACÚSTICA DE SALAS.

Este apartado se centra en el campo de aplicación de los algoritmos genéticos para el caso concreto de optimización del coeficiente de absorción en acústica de salas.

1.1.5.1. INTRODUCCIÓN.

Para el proyecto de reforma de una sala acústica, normalmente lo que se realiza es un modelo virtual de la sala en un software de simulación acústica en el que se pueden obtener los valores de los parámetros acústicos de la sala con las mejoras ya realizadas sin necesidad de llevarlas a cabo físicamente.

Antes de realizar las posibles mejoras, es decir los cambios a realizar en la sala, es necesario ajustar los parámetros simulados con los parámetros que se han medido en la sala. Normalmente los datos de las superficies de los materiales (los coeficientes de absorción de cada uno de los materiales), suelen ser imprecisos o incluso desconocidos. Por lo tanto, es

necesario realizar una calibración modificando los coeficientes de absorción de las diferentes superficies, con el fin de que los parámetros medidos coincidan con los parámetros de la simulación.

El problema consiste en que el proceso de ajuste manual consume mucho tiempo y requiere muchas iteraciones, por lo que es costoso encontrar una solución razonable.

1.1.5.2. CALIBRACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE ABSORCIÓN USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS.

El algoritmo genético comienza con un conjunto de individuos (cromosomas) y desarrolla nuevos y mejorados individuos aplicando métodos encontrados en genética molecular y biología: Cruce (Recombinación), Mutación e inversión.

En cualquier estado de la evolución el conjunto de individuos se denomina población y corresponden con una generación. El individuo es un candidato esencial al problema de optimización y normalmente se constituye de más de un gen.

El criterio que se utiliza para el proceso de evolución y crear generaciones mejoradas es la función fitness. Las propiedades de los individuos que proporcionan un buen fitness entre los valores simulados y los valores medidos tienen mayor probabilidad de propagarse a lo largo de las generaciones.

En este problema en concreto de optimización de coeficientes de absorción tenemos 8 algoritmos genéticos corriendo independientemente, uno para cada banda de octava.

Trasladando los términos generales evolutivos a nuestro problema en particular, tenemos que un individuo (conjunto de cromosomas que a su vez es un conjunto de genes) consiste en un conjunto completo de coeficientes de absorción para todas las bandas frecuenciales, correspondientes a los diferentes materiales presentes en la sala. El término gen se emplea para describir el coeficiente de absorción de un material para una banda frecuencial en concreto. Las demás equivalencias se muestran en la tabla siguiente (Tabla 1.1)

TÉRMINOS USADOS EN EL ALGORITMO GENÉTICO	ANALOGÍA CON LA OPTIMIZACIÓN DE MATERIALES
Gen	Coefficiente de absorción de un material para una banda de frecuencias específica.
Cromosoma	Conjunto de los coeficientes de absorción de cada uno de los materiales presentes para una banda frecuencial en concreto (conjunto de genes).
Individuo	Solución candidata que consiste en una lista de materiales con todos los coeficientes de absorción para todas las bandas frecuenciales (conjunto de cromosomas)
Población	Conjunto de individuos. Todas las diferentes combinaciones de materiales para una generación.
Generación	El estado en el proceso de evolución correspondiente a una población
Evolución	Proceso de obtención de nuevos conjuntos de materiales
Objetivo	Parámetros acústicos medidos
Fitness	La diferencia entre la simulación y los datos medidos para cada individuo. Debería ser mínimo. Se mide en Jnd's
Función fitness	Cálculo del fitness de acuerdo con la ecuación 1.

Tabla 1.1. Tabla comparativa de los términos empleados en los algoritmos genéticos y su equivalencia con la optimización de materiales.

Todos los algoritmos genéticos, uno para cada banda frecuencial, comienzan con un pase aleatorio (Método Monte Carlo) donde los individuos de una población son generados con coeficientes de absorción que varían de acuerdo a un rango especificado, a esto se le denomina la generación 0. Después se inicia el proceso de evolución seleccionando los individuos que serán los padres que producirán nuevos descendientes que heredarán las buenas características de sus progenitores. Durante este proceso los coeficientes de absorción aleatorios iniciales se van modificando constantemente de acuerdo con los operadores genéticos: selección, cruce, mutación e inversión.

1.1.5.3. VALOR OBJETIVO Y LA FUNCION FITNESS.

Para evaluar cómo de ajustado está un modelo virtual con un conjunto de materiales dado, comparándolo con los datos medidos, necesitamos aplicar la función fitness. La función fitness nos da un valor llamado fitness que nos proporciona información de cómo de buena es

dicha solución en comparación con otras, controlando la evolución genética. En este problema concretamente se busca minimizar ese valor.

Para evaluar el fitness de los materiales se simula la respuesta en un punto para cada conjunto de posiciones fuente receptor, y se promedian las diferencias entre los valores medidos y simulados de los parámetros acústicos. Los parámetros se normalizan a su JND por lo que es posible comprimir todos los parámetros en un mismo valor fitness. Si la diferencia entre los parámetros simulados y los medidos es menor a un JND se podrá decir que la solución es bastante precisa ya que no sería posible percibir la diferencia.

Ecuación fitness empleada Ecuación 1.1:

$$\varepsilon[JND] = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I [Par_i^k]_{Sim} - [Par_i^k]_{Meas}}{K \cdot I}$$

Ecuación 1.1. Función fitness para la optimización de coeficientes de absorción en acústica de salas.

- ε : Es el valor fitness (diferencia entre el valor simulado y el valor medido en JNDs).
- $[Par_i^k]_{Sim}$: Parámetro acústico i simulado para la combinación de fuente-receptor k.
- $[Par_i^k]_{Meas}$: Parámetro acústico i medido para la combinación de fuente-receptor k.
- K : Número total de combinaciones fuente-receptor.
- I : Número total de parámetros acústicos empleados.

1.1.5.4. ESPACIO DE BÚSQUEDA.

A la hora de optimizar el proceso de búsqueda es importante limitar el espacio de búsqueda del algoritmo genético. El espacio de búsqueda puede limitarse sin más que especificándole al algoritmo dentro de que límites varían los coeficientes de absorción o incluso diciéndole que algunos no varían en absoluto.

Esta variación de los coeficientes de absorción se denomina “rango de búsqueda” y se establece con un porcentaje. Un valor del rango de búsqueda del 100% dará lugar a una búsqueda de 0 a 1 del coeficiente de absorción, independientemente de los valores iniciales. Un valor del rango de búsqueda del 0% no permite ningún cambio en absoluto del coeficiente de absorción, significando que el material queda excluido del proceso de optimización. Es de vital importancia definir el rango de búsqueda para poder obtener soluciones realistas.

Omitiendo algunos materiales del proceso de optimización se consigue reducir el tiempo de cálculo ya que el número de individuos tiene una relación lineal con el tiempo. Limitando el rango de búsqueda de los coeficientes de absorción del proceso de búsqueda, se consigue que el algoritmo genético sólo busque entre las posibles soluciones válidas. También es recomendable que el usuario asigne primero materiales lo más realistas.

1.1.5.5. PARÁMETROS DEL ALGORITMO GENÉTICO.

En este apartado se describen los parámetros que afectan a la eficiencia y la precisión de los algoritmos genéticos.

- **Crossover Method / Método de cruce:** Este parámetro define la forma en la que los individuos se mezclan entre sí para dar lugar a nuevos individuos. Hay disponibles dos opciones en Odeon: Gene Exchange / intercambio de genes y Vector mixing / mezcla de vectores. Con la primera opción Gene Exchange, los nuevos individuos son creados de manera completamente genética, mediante reorganización.
- **Evolution Method / Método de evolución:** Este operador determina la forma en la que los individuos son seleccionados de una generación para producir los descendientes de la siguiente generación. A continuación, se describen los métodos que se pueden seleccionar en el programa de simulación acústica Odeon:
 - *Selección por ruleta / Roulette:* En este método de selección los progenitores son seleccionados basándose en los resultados de una ruleta. A los progenitores con mejor valor de fitness se les asigna una porción mayor de la rueda y por lo tanto tendrán mayor probabilidad de ser seleccionados. Es un método muy sencillo pero ineficiente a medida que aumenta el tamaño de la población. Presenta además el inconveniente de que el peor individuo puede ser seleccionado más de una vez. Y también la pérdida de diversidad.
 - *Selección aleatoria / Random:* Este método de selección se basa en seleccionar a los progenitores de manera completamente aleatoria.
 - *Selección por torneo / Tournament:* En este método unos pocos individuos son seleccionados aleatoriamente del conjunto de la población y solo los mejores se mantienen. Esto se repite varias veces hasta que se recoge un número específico de individuos.
 - *StochasticTournament / Torneo estocástico:* Los mejores progenitores del “Campo de torneo” son seleccionados mediante selección de los individuos con mejor ajuste proporcionalmente con el “Campo de torneo”.
 - *Selección elitista / Elitist:* En este método la parte por encima de un porcentaje elitista de la población se selecciona y se vuelve a seleccionar. En el algoritmo de optimización del coeficiente de absorción el método elitista es el que se aplica, ya que parece proporciona mejores resultados más rápido que los demás métodos. Al final de cada generación el 50% (Odeon permite modificar ese porcentaje) de los mejores progenitores son seleccionados para producir nuevos descendientes.

Elegir un método de selección determinará la estrategia de búsqueda del Algoritmo Genético. Si se opta por un método con una alta presión de selección, se centrará la búsqueda en soluciones en un entorno próximo a las mejores. Por el contrario, optando por una presión de selección menor se deja el camino abierto para la exploración de nuevas regiones del espacio de búsqueda.

Existen muchos otros algoritmos de selección. Unos buscan mejorar la eficiencia computacional, otros el número de veces que los mejores o peores individuos pueden ser seleccionados. Algunos de estos algoritmos son: muestreo determinístico, escalamiento sigma, selección por jerarquías, estado uniforme, sobrante estocástico, brecha generacional, etc.

- **Población. Individuals per material / Individuos por material:** La población de individuos es un importante parámetro que afecta a la rapidez del algoritmo y a la convergencia. Se pueden usar valores múltiples del número de materiales. En el caso específico del algoritmo de optimización del coeficiente de absorción, se ha encontrado que 4 individuos por material es un número razonable. Odeon permite variar el número de individuos por material, los valores que hay disponibles van de 2 a 16 de dos en dos.

En la herramienta de optimización de ODEON el usuario puede definir también la probabilidad de tres operadores genéticos que controlan la forma en la que se combinan los cromosomas provenientes de los progenitores a la hora de formar un nuevo individuo de la siguiente generación.

Los datos dentro del algoritmo genético se representan de forma binaria, lo que significa que los coeficientes de absorción se codifican en cadenas de bits con diferentes precisiones (dependiendo del número de bits de la cadena). Para este caso en particular de optimización de los coeficientes de absorción se utilizaran cadenas de 16 bits. La forma en la que se representan los coeficientes de absorción hace que la aplicación sea más sencilla.

Los operadores genéticos son los siguientes (Odeon permite definirlos también):

- **Cruce:** Este operador determina qué porción de los dos progenitores se combina para crear nuevos individuos. El valor por defecto definido por Odeon es de 98%.
- **Inversión:** Este operador invierte el segmento de cromosoma. 0 (nunca) y 1 (siempre). El valor por defecto de este operador en Odeon es de 10%.
- **Mutación:** Este operado cambia el estado de un bit (pasa de 0 a 1 o viceversa). El valor más común para la probabilidad de mutación es 1 dividido por la longitud de la cadena, lo que significa que solo a un bit de la cadena se le permite cambiar de estado. El valor por defecto que marca Odeon es de 1%.

- **Elitist percent / porcentaje elitista:** Este parámetro describe el porcentaje de progenitores de elite que son seleccionados en todas las generaciones para la evolución. Cuando este porcentaje es de 0 no hay progenitores de elite. Cuando el porcentaje es de 50% significa que la mitad de los progenitores son seleccionados como de elite, es decir, se selecciona los 50% mejores.

1.1.5.6. FUNCIONES DIFERENCIA DE MATERIALES.

Para evaluar la diferencia entre los materiales para distintos ajustes se establecen las siguientes funciones Se otorga más importancia a los materiales que más superficie ocupan.

$$DMabs = \frac{\sum_{m=1}^M |(\alpha_1 - \alpha_2)| \cdot S_m}{S_T}$$

$$DMdif = \frac{\sum_{m=1}^M (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot S_m}{S_T}$$

Ecuación 1.2. Ecuaciones diferencia de materiales, sirve para cuantificar como de diferentes son dos soluciones en cuanto a sus materiales.

- **M:** Es el número total de materiales presentes en la sala.
- **α_x :** Es el coeficiente de absorción de cada material.
- **S_m :** Es la superficie de cada material en concreto.
- **S_T :** Es la superficie total del recinto a analizar.

Cuanto más parecidos sean los materiales entre las dos simulaciones menor será el valor $DMabs$ y por el contrario cuanto más diferentes más cercanos al valor 1 estará dicho valor.

1.2. HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DE COEFICIENTES DE ABSORCIÓN EN ODEON (GENETIC MATERIAL OPTIMIZER).

1.2.1. INTRODUCCION A “GENETIC MATERIAL OPTIMIZER”.

Es una herramienta proporcionada por Odeon que utiliza algoritmos genéticos y trata de modificar los coeficientes de absorción de los materiales seleccionados en la sala para lograr un buen acuerdo entre la simulación y la medición. Esta optimización se realiza sobre las bases de los parámetros acústicos. El usuario puede seleccionar qué parámetros acústicos van a participar en el proceso de ajuste modificando su visualización en la lista “Room acoustic Parameter”

1.2.2. REALIZAR UN OPTIMIZACIÓN DE MATERIALES.

1.2.2. CARGAR UNA SALA.

Para realizar el ajuste automático lo primero que se debe hacer es cargar la sala que nos interesa ajustar. Después se deben definir las simulaciones que nos interesan en “Job list” y ver los resultados que nos proporciona Odeon con ese primer ajuste hecho de la sala, antes de haberle aplicado los algoritmos genéticos.

1.2.2.2. SELECCIONAR LOS PARÁMETROS ACÚSTICOS.

Antes de empezar con el ajuste automático es importante seleccionar los parámetros que van a ser utilizados en la función fitness que se utilizará para el ajuste automático. Estos parámetros se pueden seleccionar desde la herramienta “Room Acoustic Parameter list”. Al abrir dicha herramienta solo se muestran los parámetros que están activados como visibles, es decir, los que se añadirán en la función fitness y por lo tanto los que se tendrán en consideración a la hora de realizar el ajuste automático. También serán los parámetros que se mostrarán en los resultados del “single multipoint response”. Para poder seleccionar otros parámetros como visibles o poder modificar los que ya estaban marcados como visibles se debe pinchar en el botón que se encuentra en la esquina superior derecha con un símbolo de más (Figura 1.1). Es entonces cuando se activa una columna llamada visibility en la que se permite marcar ahora los parámetros que se deseen, como visibles (Figura 1.2).

“Room Acoustic Parameter list”



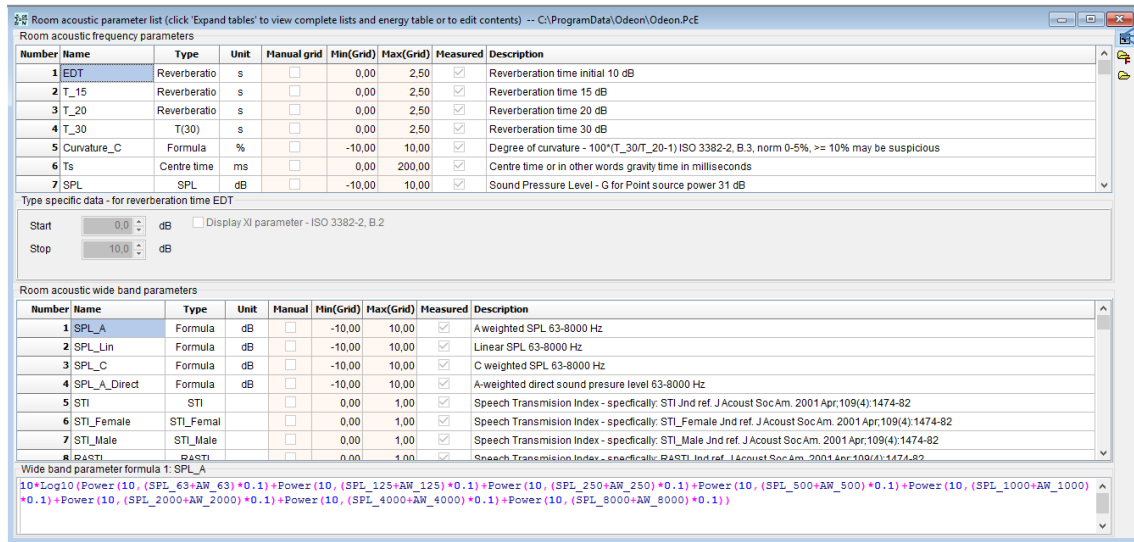


Figura 1.1. Ventana room acoustic parámetros con una flecha indicando el boton que hay que pulsar para que se puedan modificar los parámetros.

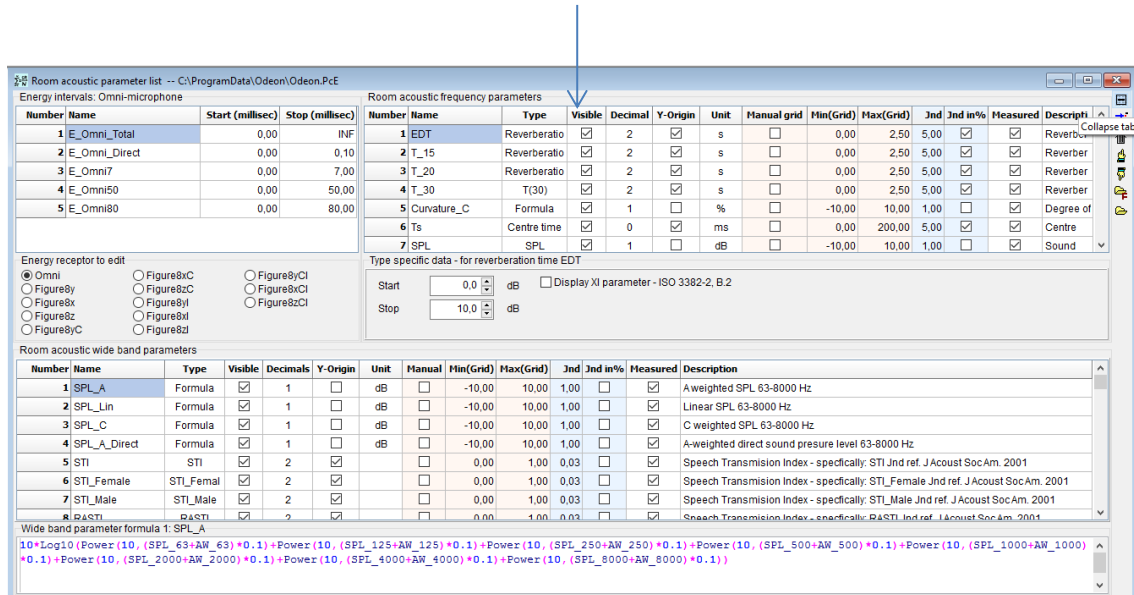


Figura 1.2. Ventana room acoustic parámetros con una flecha indicando la columna en la que se marcan las casillas para que los parámetros sean mostrados o no.

1.2.2.3. ABRIR LA HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN.

Para abrir la herramienta de optimización se debe pulsar en el botón de “Genetic material optimizer”. Una vez abierta se mostrará la siguiente ventana (Figura 1.3).

“Genetic material optimizer”

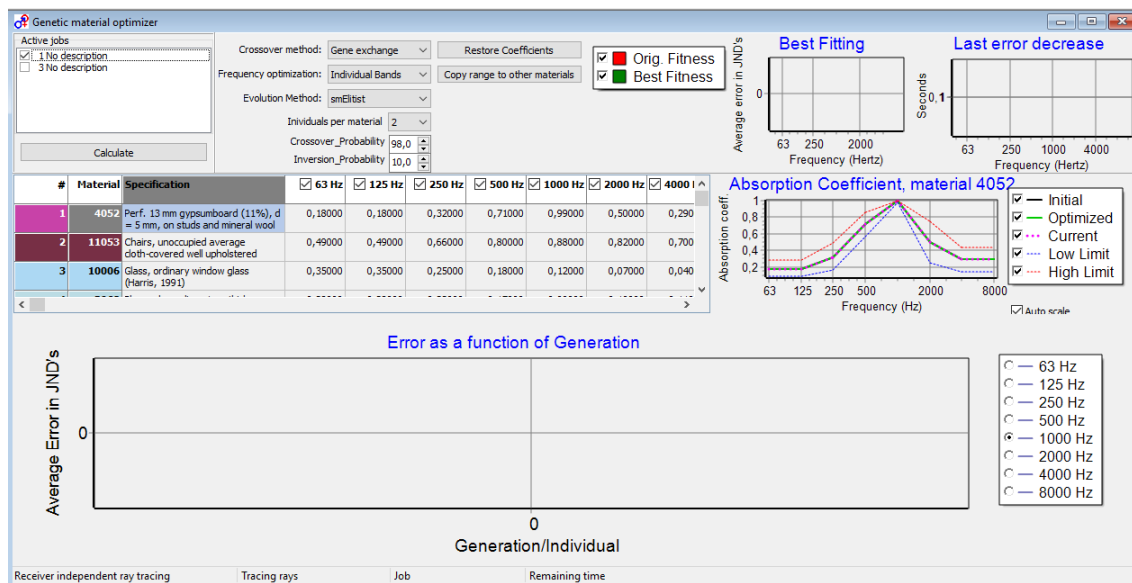


Figura 1.3. Interfaz gráfica de la herramienta genetic material optimizer.

Esta ventana está formada por distintos apartados que nos dan distintas informaciones sobre el proceso de optimización las cuales. Se describen a continuación estos distintos apartados destacados en la figura 1.4.

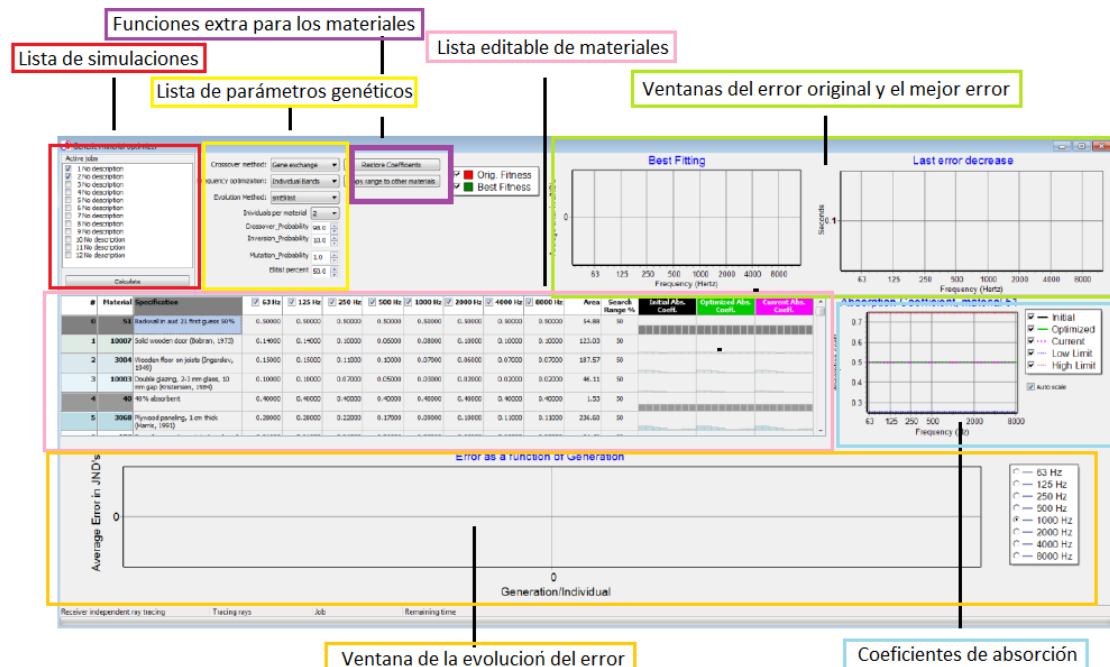


Figura 1.4. GUI de la herramienta “genetic material optimizer” con sus distintos apartados marcados.

- **Lista de simulaciones:** Muestra el total de simulaciones que se han definido y permite seleccionar las que se desean emplear para el proceso de optimización.
- **Lista de parámetros genéticos:** Estos parámetros son para los usuarios expertos de esta herramienta, de lo contrario se pueden seleccionar los valores por defecto.
- **Lista editable de materiales:** En esta lista se muestran los materiales asignados a cada capa en la ventana de lista de materiales (material list). Estos materiales son los que se irán modificando dentro de un rango de búsqueda que se definirá aquí también en la parte derecha. Por defecto el rango de búsqueda es de 50%.
- **Ventana del error original y el mejor error:** Esta ventana presenta el error original entre la simulación y la medida en comparación con el mejor valor hasta el momento. Este error se representa en JNDs. El decremento del pasado error (Last error decrease) muestra el tiempo transcurrido desde la última modificación del mejor valor hasta el momento.
- **Coefficientes de absorción:** Hay tres líneas diferentes de coeficientes de absorción que van modificándose constantemente durante el cálculo.
 - La línea inicial (Initial Line) corresponde con los coeficientes de absorción del material original.
 - La línea optimizada (Optimized line) muestra el coeficiente de absorción que proporciona el mejor resultado hasta el momento.
 - La línea actual (Current line) Corresponde con el coeficiente de absorción de la solución que se está ejecutando (que puede, o no, ser una buena solución).

A parte de estas 3 curvas cambiantes, hay dos más que se mantienen fijas:

- El límite inferior (low limit), que especifica el valor inferior que al material correspondiente se le puede asignar por banda de octava durante el proceso de optimización. Depende directamente del valor asignado en el rango de búsqueda.
- El límite superior (Upper limit), es el que especifica el valor superior que al material correspondiente se le puede asignar por banda de octava durante el proceso de optimización. Depende directamente del valor asignado en el rango de búsqueda.

Para comparar directamente la diferencia entre distintos materiales hay que desmarcar la casilla autoescale. Entonces 0 será el valor mínimo y 1 será el valor máximo.

- **Ventana de evolución del error:** Se muestra el error para cada individuo (solución) por generación, normalmente el error fluctúa mayormente al principio del proceso de optimización y disminuye a medida que el algoritmo genético va convergiendo.
- **Funciones extra para los materiales:** Hay dos botones disponibles que permiten una mayor flexibilidad cuando se edita una lista de materiales

Restore coefficients / Restauración de los coeficientes: Este botón reestablece los coeficientes de absorción en todas las bandas de octava para el material seleccionado. Es de gran utilidad cuando se comienza a modificar el coeficiente para un material y se desea obtener el coeficiente original.

Copy range to other materials/ Copia del rango a otros materiales: Si se ha modificado el rango de búsqueda de un material, se puede asignar el mismo valor a todos los materiales, sin más que presionando este botón.

1.2.2.4. CORRER UNA SIMULACIÓN.

Para correr una simulación lo primero que se debe hacer es mirar si los parámetros que nos permite modificar esta herramienta están en los valores que deseamos. Después pulsamos el botón que aparece debajo de la lista de simulaciones (job list) en el que pone “Start Calculation”. Odeon comienza con una gestión preliminar, durante la cual los valores fitness originales son evaluados y aparecen en color rojo en “Best Fitting graph”. Dependiendo del problema, este paso puede ser muy rápido.

Después de esta gestión preliminar, el algoritmo genético principal comienza con la generación 0, esta generación implica una generación de individuos completamente aleatorios (lista de materiales).

Sin embargo esta búsqueda aleatoria está limitada entre el valor superior e inferior especificado por el rango de búsqueda para cada material. Por ejemplo si un material al que se le ha asignado un rango de búsqueda de 5% permanecerá casi como el original incluso durante la generación 0.

Después de la generación 0, una vez que esta termina, los progenitores son seleccionados mediante uno de los métodos de selección. Entonces se continúa con la siguiente generación. Ahora las sucesivas generaciones no son aleatorias, a no ser que el método de selección deseado sea el aleatorio. Este procedimiento continúa hasta que se pulsa el botón de “Stop Calculation”.

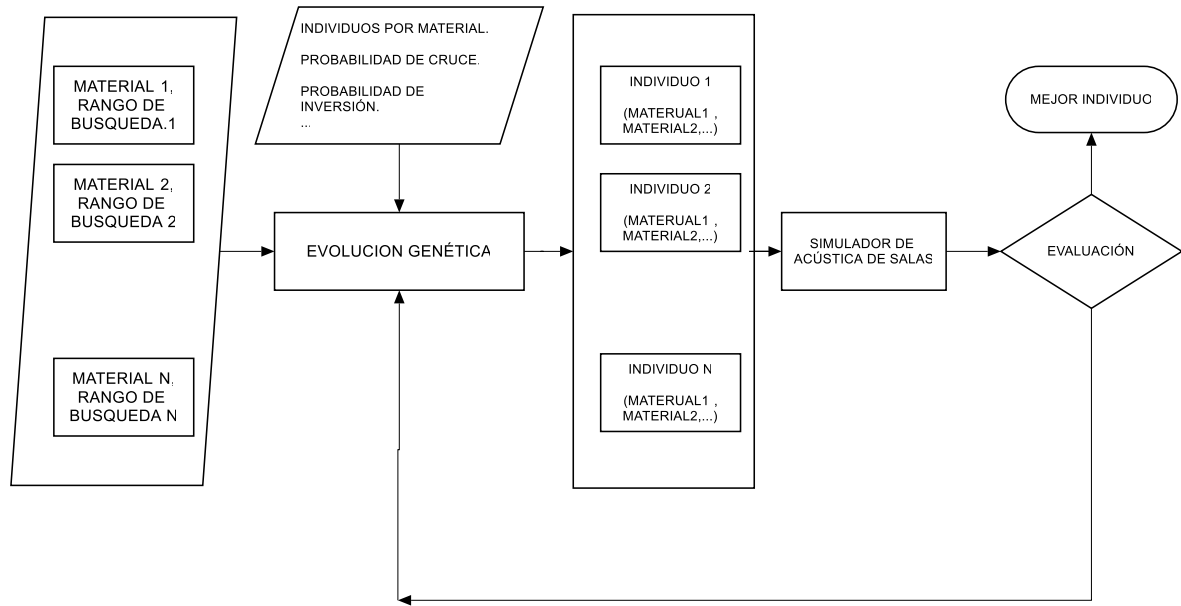


Diagrama 1.1. Diagrama de flujos de cómo funciona la herramienta genetic material Optimicer.

Durante todo el proceso de evolución todas las gráficas presentes en el interfaz van variando constantemente. La Figura 1.5 muestra este interfaz durante el proceso de evolución.

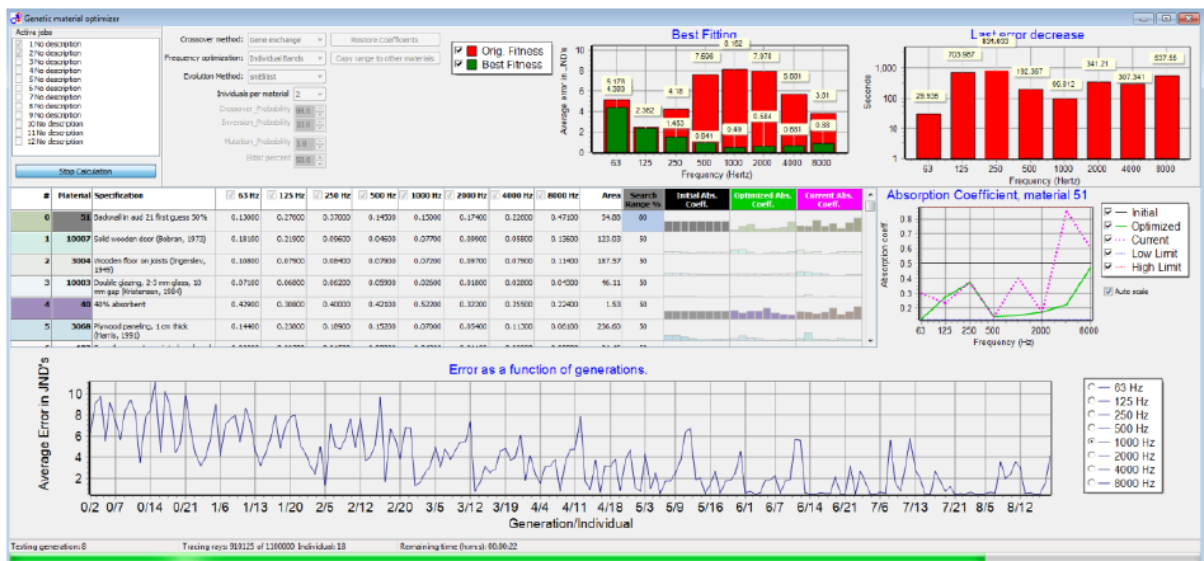


Figura 1.5. Interfaz de la herramienta "Genetic material optimizer" durante el proceso de evolución".

Después de terminar con la simulación el programa ofrece la opción de modificar los materiales o no. Si se modifican habrá que volver a ejecutar la simulación con los nuevos materiales y ver los nuevos resultados obtenidos.

1.3. CONCEPTOS TEÓRICOS.

1.3.1. PARÁMETROS DERIVADOS DE LA IR.

Estudios subjetivos de las características acústicas de auditorios han demostrado que determinadas magnitudes, que pueden obtenerse a partir de las respuestas impulsivas medidas, están correlacionadas con aspectos particulares subjetivos del carácter acústico de un auditorio. Históricamente se ha considerado el tiempo de reverberación como el indicador predominante para estimar las propiedades acústicas de una sala. Aunque continua considerándose un parámetro significativo, existe consenso entre la comunidad científica sobre la necesidad de emplear otro tipo de indicadores, tales como los niveles relativos de la presión acústica, las relaciones de energía inicial-final, índices que valoran la energía que llega lateralmente al oyente y otros relacionados con el carácter binaural del proceso de escucha. Mientras que el tiempo de reverberación proporciona una descripción fundamental del carácter acústico de un auditorio, los valores asociados a estas nuevas magnitudes dan una mejor y más completa descripción de sus condiciones acústicas.

1) Tiempos de reverberación:

Se denomina reverberación a la mayor o menor persistencia del sonido en un recinto una vez que la fuente que lo ha generado haya dejado de emitirlo. Con el fin de cuantificarla, se define el Tiempo de Reverberación (T) como el tiempo en segundos que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta el momento en que el nivel sonoro cae 60 dB con respecto a su valor inicial.

- Tiempo de reverberación (T): Es el tiempo en segundos que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta el momento en que el nivel sonoro cae 60 dB con respecto a su valor inicial.
- EDT (Early Decay Time): Es el tiempo que tarda el nivel sonoro en caer los primeros 10dB de la curva de caída, multiplicado por un factor 6 para correlacionarlo con la definición de tiempo de reverberación existente.

$$EDT(t) = \int_t^{\infty} h^2(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} h^2(\tau) d\tau - \int_0^t h^2(\tau) d\tau$$

Ecuación 1.3.

- T_{30} : Tiempo que tarda en caer el nivel de presión sonora entre 5 y 35 dB multiplicado por un factor 2 para correlacionarlo con la definición de tiempo de reverberación existente.

2) Balances entre energía inicial y final

El oído humano actúa como una especie de integrador, es decir, su capacidad para discernir eventos acústicos sucesivos es limitada, hecho atribuido en la literatura a lo que se viene a denominar “inercia” en la escucha. Una reflexión que llega al oyente después del sonido directo puede ser percibida, dependiendo de su nivel y el tiempo de retardo, como un evento separado (eco), como un cambio en el timbre (coloración) o simplemente como un incremento de nivel de la fuente sonora (soporte).

Nuestro proceso de escucha es menos sensible a ecos en la música que en el lenguaje oral. Obviamente la razón reside en que la música no necesita ser entendida de la misma forma que la palabra. Por otra parte, cuando el tiempo transcurrido para la llegada de la primera reflexión es muy corto y su nivel alto, aunque no sea percibida como un eco puede causar el efecto indeseado de coloración de la señal original, es decir, cambiar su timbre. Tanto los ecos como la coloración pueden ser detectados respectivamente mediante el examen visual de la respuesta al impulso y mediante análisis basados en la autocorrelación.

Pese a todo, exceptuando ocasiones especiales donde el nivel de la reflexión es excesivamente alto y llega o demasiado tarde (produciendo ecos) o demasiado pronto (produciendo coloración), las primeras reflexiones generalmente “apoyan” al sonido directo. Este “apoyo” produce que la fuente sonora se perciba como de mayor nivel o más amplia. Las reflexiones que llegan con un retardo más largo contribuyen a la parte reverberante de la respuesta de la sala. El principal efecto de la energía reverberante es producir un nivel de fondo de la sala. Puede ser beneficioso, añadiendo “calidez” a la música, o indeseable, actuando como ruido de fondo y reduciendo de ese modo la definición de la señal o causando ecos potenciales. Este efecto está en oposición directa con el apoyo ofrecido a la señal por las primeras reflexiones. Por tanto, es necesario distinguir entre la parte inicial de la respuesta impulsiva de la parte final.

Los resultados proporcionados por H. Haas y R.W. Muncy muestran que el tiempo de retardo crítico, anterior al cual las reflexiones enriquecen el sonido directo y posterior al cual las reflexiones simplemente contribuyen a la reverberación está situado en una región entre 50 y 100 ms, dependiendo de la naturaleza de la fuente sonora.

- Definición (D_{50}). Es la relación entre la energía que llega al oyente dentro de los primeros 50 ms desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo y las primeras reflexiones) y la energía total recibida por el mismo, puede variar entre 0 y 1, aunque es habitual encontrarlo expresado de forma porcentual, y es empleado como indicador de la calidad de la transmisión oral.

$$D_{50} = \frac{E_{50}}{E_T} = \frac{\int_0^{50ms} h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt}$$

Ecuación 1.4.

- Claridad (C_{80}): Es la relación entre la energía contenida en los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo y la energía que llega posteriormente. Este parámetro se denomina habitualmente claridad musical, y está relacionado con la calidad en la transmisión de un mensaje de tipo musical. Su equivalencia con la transmisión del mensaje oral es el C_{50} , que sería lo mismo pero reduciendo el tiempo de integración a 50 ms.

$$C_{80} = 10 \cdot \log\left(\frac{E_{80}}{E_r}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{\int_0^{50ms} h^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} h^2(t) dt}\right) (dB)$$

Ecuación 1.5.

- Tiempo central (T_s): Se define como el primer momento de la respuesta cuadrática al impulso, este parámetro está estrechamente correlacionado con el parámetro EDT.
-

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt} (ms)$$

Ecuación 1.6.

3) Niveles sonoros:

Durante mucho tiempo el nivel estacionario de presión sonora (*Sound Pressure Level - SPL*) que una fuente sonora produce en una sala no fue considerado como un criterio para la calidad acústica, ya que depende principalmente de la potencia de la fuente y la absorción (o tiempo de reverberación) de la sala. Actualmente, sin embargo, la actitud con respecto al nivel sonoro ha cambiado puesto que un valor alto para la definición o claridad es de poca utilidad si va acompañado de un sonido demasiado débil como para ser escuchado.

Si el nivel de presión sonora en un recinto debe reflejar únicamente propiedades del recinto y no de la fuente, debe ser medido con una fuente sonora no direccional cuya potencia de salida sea controlada mediante algún tipo de normalización. Así se llega a la definición del parámetro Fuerza Acústica (G), considerado como el nivel producido por la fuente sonora en el punto medido menos el nivel que produciría dicha fuente, emitiendo a la misma potencia, dentro de una cámara anecoica (o campo abierto) en un punto situado a 10 m de distancia de la fuente:

- Fuerza acústica(G): Este parámetro es considerado como el nivel producido por la fuente sonora en el punto medido menos el nivel que produciría dicha fuente, emitiendo a la misma potencia, dentro de una cámara anecoica (o campo abierto) en un punto situado a 10 m de distancia de la fuente.

$$G = 10 \cdot \log \left(\frac{\int_0^\infty h^2(t) dt}{\int_0^\infty h_{A,10}^2(t) dt} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{E_T}{E_{T(A,10)}} \right) (dB)$$

Ecuación 1.7.

- **$h_{A,10}$** : Es la respuesta al impulso medida con la misma fuente sonora en una cámara anecoica a 10 m de distancia.
- **$E_{T(A,10)}$** Puede aproximarse por:

$$E_{T(A,10)} = \frac{r^2}{10^2} \cdot \int_0^{\Delta\tau} h^2(t) dt$$

Ecuación 1.8.

- **r** : Es la distancia entre el punto medido y la fuente sonora.
- **$\Delta\tau$** : Es la duración de la excitación impulsiva.

1.3.2. JUST NOTICEABLE DIFFERENC, JND.

En el campo de la acústica, el jnd se define como la mínima variación en el valor de un parámetro acústico perceptible por el oyente y está actualmente considerado como el mejor indicador de cara a conocer la percepción subjetiva provocada por una variación en dicho parámetro. El jnd puede usarse en muchas áreas: ofrece una orientación sobre la precisión con la que deberían medirse los parámetros acústicos objetivos; establece la precisión con que los modelos computacionales deberían ser capaces de simular un recinto; y es una herramienta fundamental para los acústicos para conocer si una alteración en el diseño de una sala será realmente apreciada por la audiencia.

Ha habido numerosas investigaciones en torno a este tema las cuales no han llevado a unos valores para el jnd que empleamos en la actualidad y son los valores que se muestran en la siguiente tabla. Cabe destacar que para los tiempos de reverberación el valor del jnd es relativo, estableciéndose como un porcentaje del valor del parámetro:

PARÁMETRO	JND
EDT, T_{20}, T_{30}	Rel. 5% s
D_{50}	0.05
C_{50}, C_{80}	1dB
T_s	10ms
G	1dB
J_{LF}, J_{LFC}	0.05
L	-
IACC	0.075

Tabla 1.2. Parámetros acústicos con su JND asociado.

1.3.3. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE MATERIALES.

El coeficiente de absorción de un material i (α_i), se describe como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente.

$$\alpha_i = \frac{E_a}{E_i}$$

Ecuación 1.9. Coeficiente de absorción de un material i .

El coeficiente de absorción acústica de una material depende de la naturaleza del mismo, de la frecuencia de la onda y del ángulo con el que la onda incide sobre la superficie.

La siguiente gráfica muestra la dependencia del coeficiente de absorción con el ángulo de incidencia para cuatro diferentes impedancias acústicas específicas.

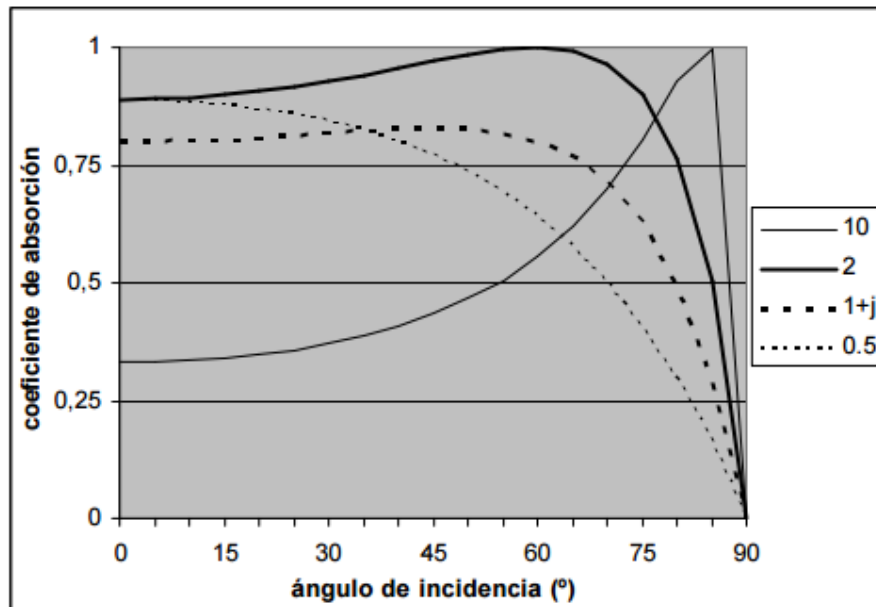


Figura 1.6. Gráfica de la dependencia del coeficiente de absorción con el ángulo de incidencia.



CAPÍTULO 2 Análisis sala test.

2.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se va a analizar exhaustivamente la herramienta de optimización de los coeficientes de absorción basada en algoritmos genéticos. Este software nos lo proporciona el programa de simulación acústica Odeon.

El objetivo final de este capítulo es adquirir destreza a la hora de ajustar la herramienta en una sala test. El fin es conseguir obtener los mejores resultados posibles de la manera más óptima, para su posterior sistematización con un conjunto de auditorios.

2.2. PLANIFICACION.

Para poder emplear la herramienta de optimización de los coeficientes de absorción en su máximo potencial es imprescindible hacer un estudio amplio de las posibilidades que ofrece dicha herramienta. También es importante realizar una comparación del ajuste manual con el ajuste automático para ver las diferencias entre ellos.

Pasos a seguir:

- 1.- Ajuste manual de la sala y los criterios a seguir.
- 2.- Comparación de dos ajustes manuales distintos y llegar a una función fitness representativa en cuanto a número de receptores y a conjunto de parámetros, para su posterior uso en el análisis del ajuste automático.
- 3.- Análisis de los parámetros variables del ajuste automático.
- 4.-Realización de los ajustes automáticos
- 4.-Comparacion entre todos los ajustes.
- 5.- Conclusiones extraídas del estudio.

2.3. DESCRIPCION DE LA SALA TEST.

La sala objeto de estudio es el auditorio Fernando Remacha situado en el sótano del conservatorio superior de música de Navarra (Pamplona). El uso de esta sala está destinado principalmente para música sinfónica, de cámara y coral. La sala de estudio tiene un volumen de 4144m³.

Se ha elegido esta sala debido a que se dispone de un gran número de medidas. Concretamente 375 medidas monoaurales, una en cada una de las butacas y para un total de 4 fuentes distintas. También se dispone de 86 medidas monoaurales medidas por todo el escenario para una única posición de fuente.

Lo primero que se hace con la sala es su ajuste manual, para ello se necesita tener las medidas un formato en el que Odeon pueda interpretarlo. Las medidas están tomadas con winMLS. Todos los resultados están guardados en un formato .txt que Odeon no es capaz de reconocer. Es necesario modificar todos los datos de todas las medidas a un formato capaz de ser interpretado por Odeón. Todo esto se realiza de manera automática mediante un programa realizado en java.

Una vez se tienen las medidas tomadas del auditorio introducidas en Odeon y todas las posiciones de los receptores situadas, se puede comparar las curvas de los parámetros medidos y simulados y comenzar con el ajuste manual.

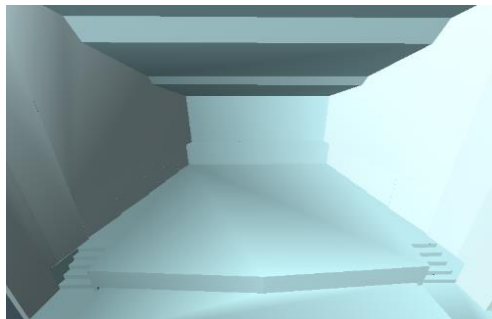
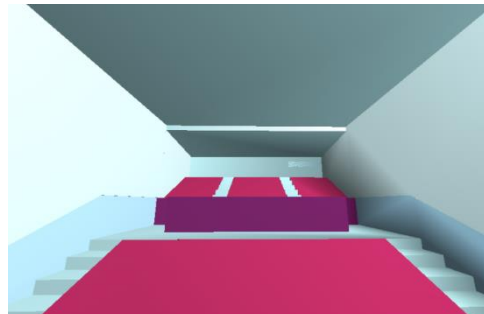


Figura 2.1. Distintas imágenes de la sala, la primera muestra como es en la realidad, y las dos siguientes son imágenes del modelo virtual.

2.4. AJUSTE MANUAL DE LA SALA TEST.

En este apartado se va a explicar en qué ha consistido el ajuste manual y se hará una comparación de dos ajustes manuales distintos. Los dos ajustes se realizan siguiendo el mismo procedimiento que se explica a continuación, pero llevados a cabo por dos personas distintas. Ambos partirán de una misma situación (primera aproximación CON_PA), recreación del habitual proceso de diseño de una sala de estas características, donde los coeficientes de absorción iniciales se asignan sobre la base de hojas de características proporcionadas por los fabricantes o consultando bases de datos.

2.4.1. PROCEDIMIENTO DEL AJUSTE MANUAL.

2.4.1.1. SELECCIÓN DE LOS RECEPTORES.

Para el ajuste manual de la sala se han seleccionado un total de 11 receptores (según la UNE-EN ISO 3382-1:2009) concretamente 9 receptores en la audiencia y 2 en el escenario, distribuidos de la siguiente manera (Figura 2.2):

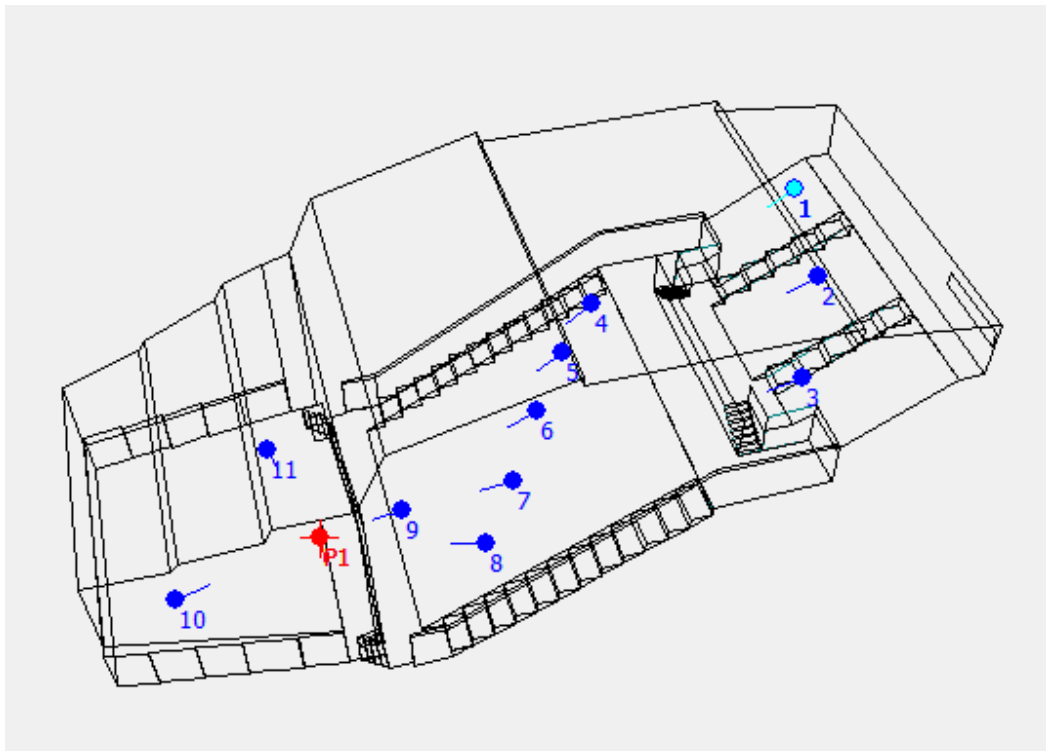


Figura 2.2. Disposición de los receptores para realizar los distintos ajustes.

La siguiente tabla 2.1 nos dice a qué medida corresponde cada uno de los receptores y en qué zona del recinto están situados:

RECEPTOR	EQUIVALE CON LA MEDIDA	LOCALIZACION
1	40	AUDIENCIA
2	56	AUDIENCIA
3	93	AUDIENCIA
4	142	AUDIENCIA
5	181	AUDIENCIA
6	219	AUDIENCIA
7	256	AUDIENCIA
8	294	AUDIENCIA
9	366	AUDIENCIA
10	E18	ESCENARIO
11	E56	ESCENARIO

Tabla 2.1. Equivalencia de cada receptor con la posición de medida.

2.4.1.2. SELECCIÓN DE UN CRITERIO DE AJUSTE.

Una vez se han elegido los receptores, lo siguiente es establecer un criterio de ajuste. En este caso se establece como criterio de ajuste el siguiente: La diferencia del parámetro T30 entre los valores medidos y simulados promedio no debe variar más de 1 JND) en las bandas entre 125 Hz y 4000 Hz.

La razón por la que se utiliza el parámetro T30 como criterio de ajuste es porque dicho parámetro proporciona una información global como impresión de viveza, y suele distribuirse homogéneamente a lo largo del recinto, con lo que el proceso iterativo de ajuste se simplifica.

2.4.1.3. ASIGNACIÓN DE LOS MATERIALES.

Después de la elección de los receptores y marcar el criterio de ajuste se pasa a la asignación de los materiales que se realiza por capas. Para este Auditorio se han diferenciado 6 capas distintas. En la siguiente tabla 2.2 se muestran las 6 capas de las que consta el Auditorio:

CAPA
MADERA_NORMAL
MADERA_RUGOSA
PANEL_PERFORADO
MADERA_LACADA
VENTANA
AUDIENCIA

Tabla 2.2. Tabla con las distintas capas que constituyen el escenario.

Para realizar la primera aproximación de la sala de ajuste se disponen de las curvas de absorción de los materiales de la audiencia y del panel perforado. Para la madera lacada y la madera rugosa se obtienen sus posibles curvas de absorción de una base de datos encontrada en internet. Para estos materiales se crean materiales nuevos en Odeon.

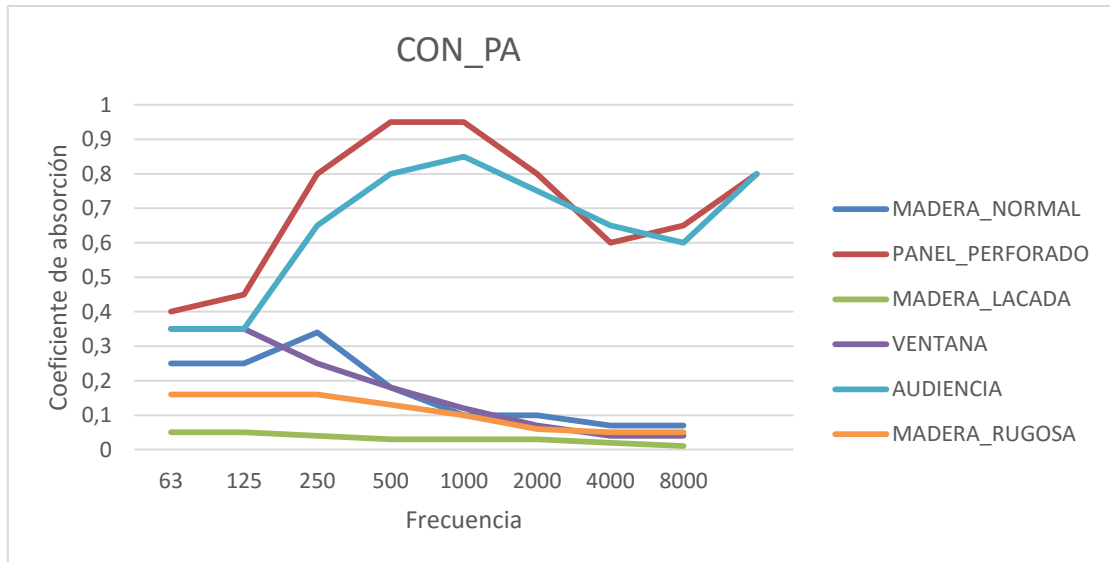
Finalmente para la madera normal y la ventana se seleccionan materiales directamente de la librería proporcionada por Odeon. En esta primera aproximación también añadimos un 0,7 de scattering en la zona de la audiencia.

- **Primera asignación (CON_PA)**

En la siguiente tabla 2.3 aparecen los coeficientes de absorción para cada banda por material de la primera aproximación:

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
MADERA_NORMAL							
0,25	0,25	0,34	0,18	0,10	0,10	0,07	0,07
MADERA_RUGOSA							
0,16	0,16	0,16	0,13	0,10	0,06	0,05	0,05
PANEL_PERFORADO							
0,4	0,45	0,80	0,95	0,95	0,80	0,60	0,65
MADERA_LACADA							
0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01
VENTANA							
0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,04
AUDIENCIA							
0,35	0,35	0,65	0,80	0,85	0,75	0,65	0,60

Tabla 2.3. Tabla con los coeficientes de absorción para cada frecuencia por material para la primera aproximación.



Gráfica 2.1. Representación de los valores de la Tabla 2.3.

En la Figura 2.3 se puede observar que para esta primera asignación, el resultado de la simulación dista mucho de los valores medidos. Se observa que ninguna de las bandas podría considerarse ajustada.

Para conseguir ajustarlo se debe disminuir bastante el coeficiente de absorción en las bandas a partir de 250 Hz para que el tiempo de reverberación aumente. También se debe aumentar el coeficiente de absorción en las bandas frecuenciales más bajas para que el tiempo de reverberación disminuya.

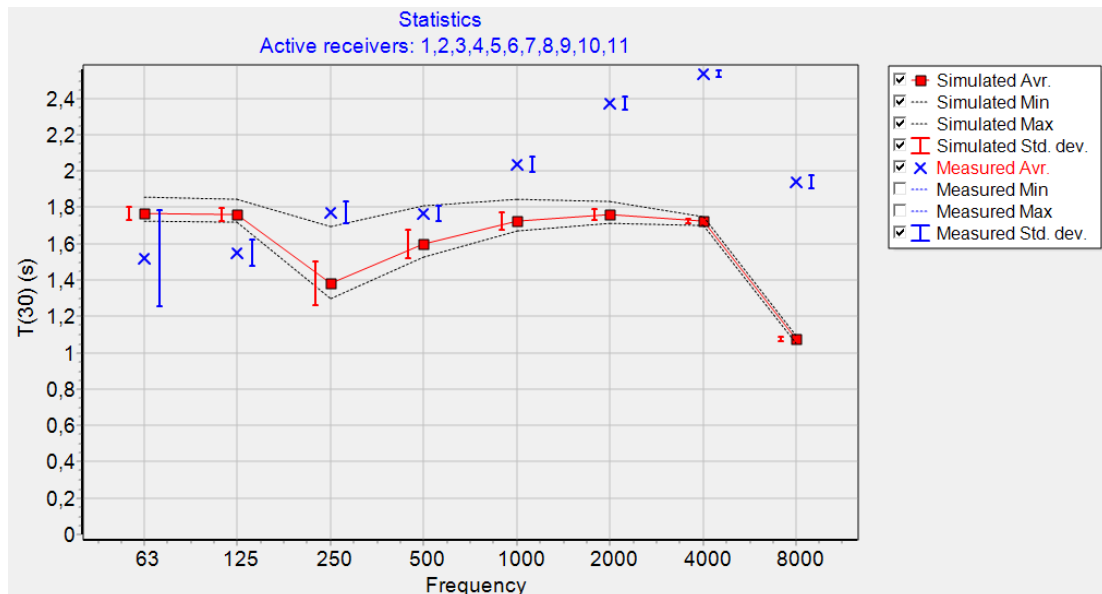


Figura 2.3. Muestra el valor T30 promedio para el conjunto de todos los receptores para la primera aproximación.

Después de realizar la primera aproximación se modifican los coeficientes de absorción de los materiales hasta que la curva este ajustada en la mayoría de lo posible de la forma antes explicada.

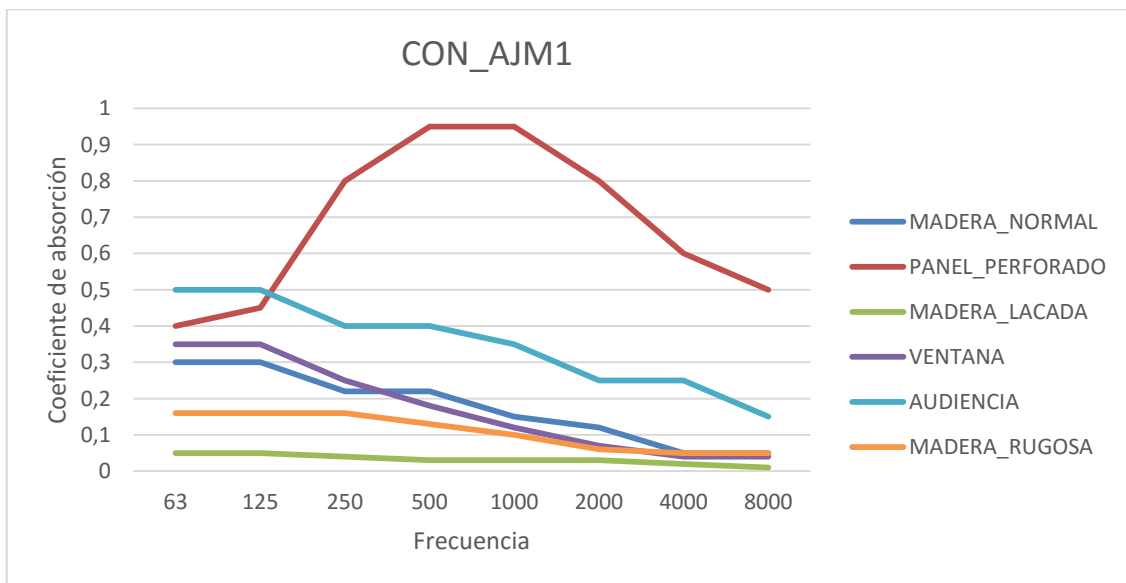
Se van a realizar dos ajustes manuales distintos para luego poder hacer comparaciones entre ellos.

- **Ajuste manual 1 (CON_AJUM1)**

En la siguiente tabla (Tabla.2.4) se muestran los valores de los coeficientes de absorción de los materiales elegidos para el primer ajuste manual de la sala.

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
MADERA _ NORMAL							
0,30	0,30	0,22	0,22	0,15	0,12	0,05	0,05
MADERA _ RUGOSA							
0,16	0,16	0,16	0,13	0,10	0,06	0,05	0,05
PANEL _ PERFORADO							
0,4	0,45	0,80	0,95	0,95	0,80	0,60	0,50
MADERA _ LACADA							
0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01
VENTANA							
0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,04
AUDIENCIA							
0,50	0,50	0,40	0,40	0,35	0,25	0,25	0,15

Tabla 2.4. Coeficientes de absorción de la asignación final del ajuste manual 1.



Gráfica 2.2. Representación de los valores de la tabla 2.4.

En este primer ajuste se ha optado por reducir bastante la absorción de la audiencia. Ya que es uno de los materiales que más espacio ocupa y por lo tanto será uno de los que más afecte a los resultados.

En la Figura 2.4 se puede ver como la curva de simulación ahora sí es prácticamente idéntica a la medida y cumple el criterio establecido. Por lo que se dará por satisfactorio este primer ajuste manual.

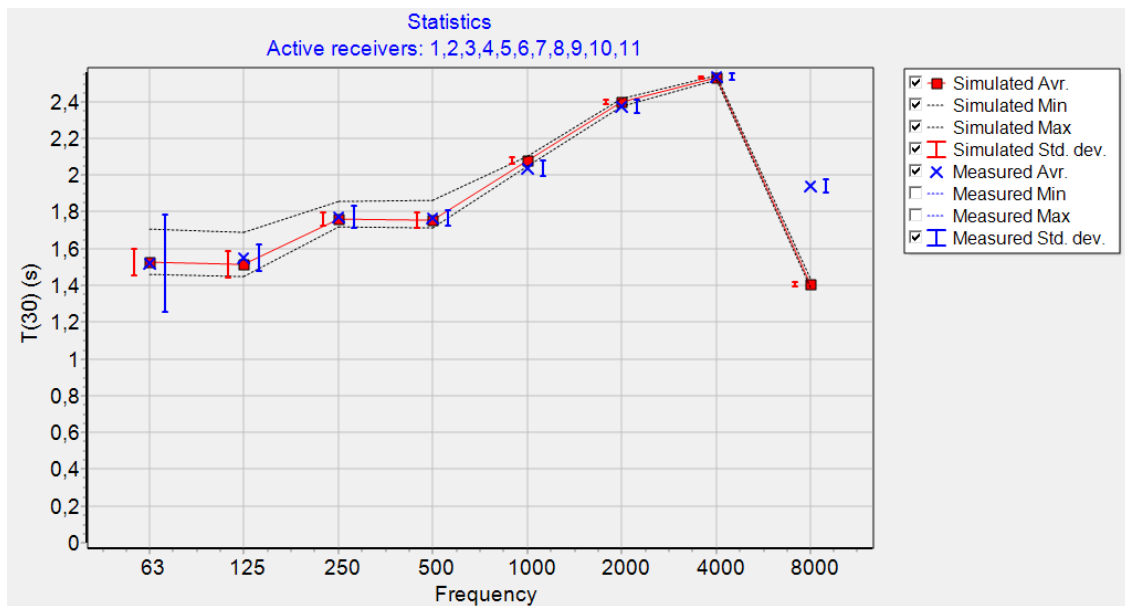


Figura 2.4. Muestra el valor T30 promedio para el conjunto de todos los receptores para el primer ajuste manual.

- **Ajuste manual 2 (CON_AJM2)**

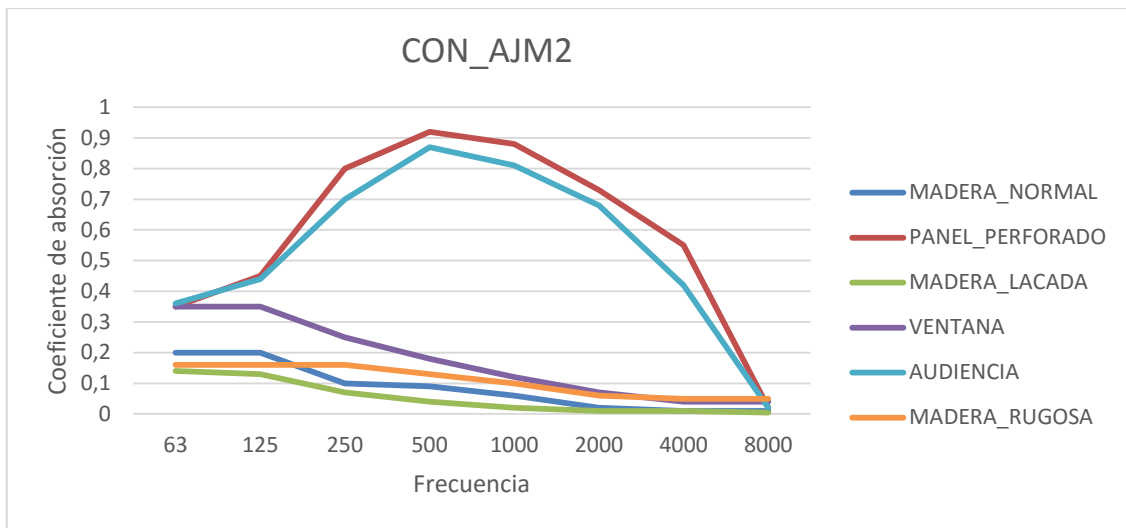
En la siguiente tabla (Tabla.2.5) se muestran los valores de los coeficientes de absorción de los materiales elegidos para el segundo ajuste final de la sala.

En este caso se ha optado por mantener la absorción de las butacas altas y se ha reducido la absorción de las maderas.

Esta nueva asignación de materiales es muy distinta a la asignación de materiales elegida en el primer ajuste, aunque es igualmente válida según el criterio establecido.

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
MADERA _ NORMAL							
0,20	0,20	0,10	0,09	0,06	0,02	0,01	0,01
MADERA _ RUGOSA							
0,28	0,26	0,19	0,12	0,10	0,02	0,01	0,01
PANEL _ PERFORADO							
0,35	0,45	0,80	0,92	0,88	0,73	0,55	0,02
MADERA _ LACADA							
0,14	0,13	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01
VENTANA							
0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,04
AUDIENCIA							
0,36	0,44	0,70	0,87	0,81	0,68	0,42	0,02

Tabla 2.5 Coeficientes de absorción de la asignación final del ajuste manual 2.



Gráfica 1.3. Representación de los valores de la tabla.2.5.

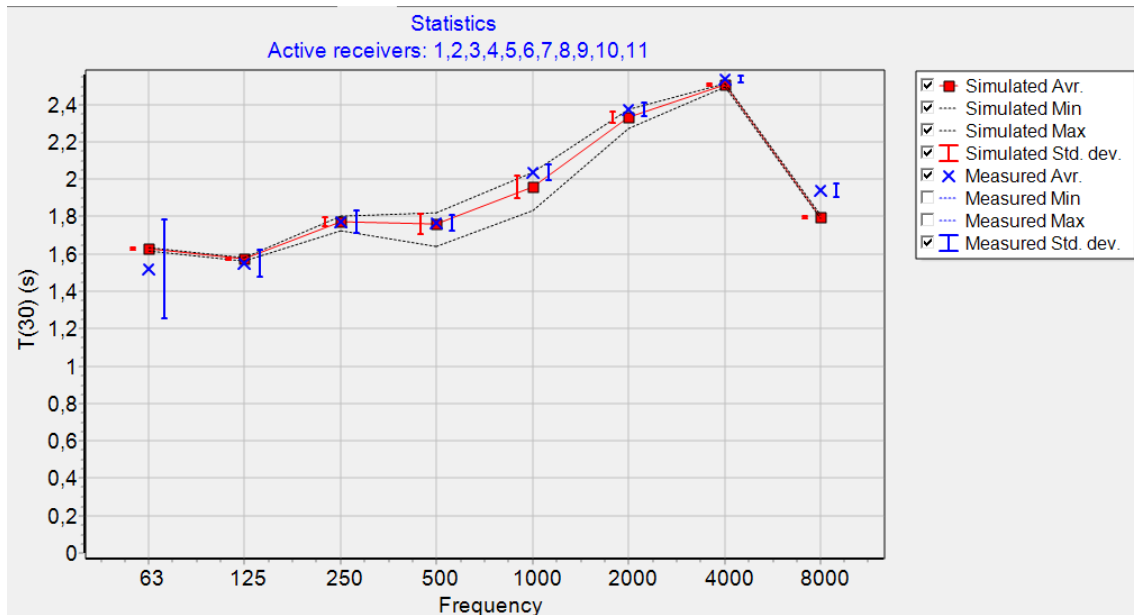


Figura 2.5. Muestra l valor T30 promedio para el conjunto de todos los receptores para el segundo ajuste manual.

Como se puede observar, se pueden obtener resultados igualmente válidos en cuanto al criterio marcado, pero con una asignación de materiales completamente distinta.

2.4.2. OBTENCION DE UNA FUNCIÓN FITNESS REPRESENTATIVA.

El objetivo de este apartado es el de establecer una función fitness con un número de receptores y un conjunto de parámetros acústicos concretos. Con esto se busca que la función represente las diferencias entre dos configuraciones de la forma más objetiva posible, llegando a un compromiso entre precisión y tiempo de ejecución. Posteriormente se utilizará también dicha función para analizar las variables de la herramienta automática.

2.4.2.1. DIFERENCIAS ENTRE LA COMPARACION MEDIANTE LOS VALORES PROMEDIO Y EL VALOR FITNESS.

Como se puede observar en la figura que se ve a continuación (Figura 2.6), hay dos maneras de comparar dos ajustes distintos. En el primer diagrama, el de la izquierda, los ajustes se comparan mediante el valor promedio de un parámetro, es decir se realiza un promedio de los valores de todos los receptores y después se comparan dichos promedios. En el segundo caso se realiza la diferencia de cada uno de los receptores y se cuantifican dichas diferencias a través de la función fitness (Es la función que se utiliza en los algoritmos genéticos). Esta segunda forma de mirar las diferencias nos da una visión más acertada de las diferencias reales. En la primera forma de comparar se podrían estar enmascarando resultados peores.

Concluyendo. Si en la comparación mediante el valor fitness se cumplen los criterios, claramente con la primera forma de comparar se cumplirán, de esta manera podemos solo centrarnos en la comparación de los valores fitness.

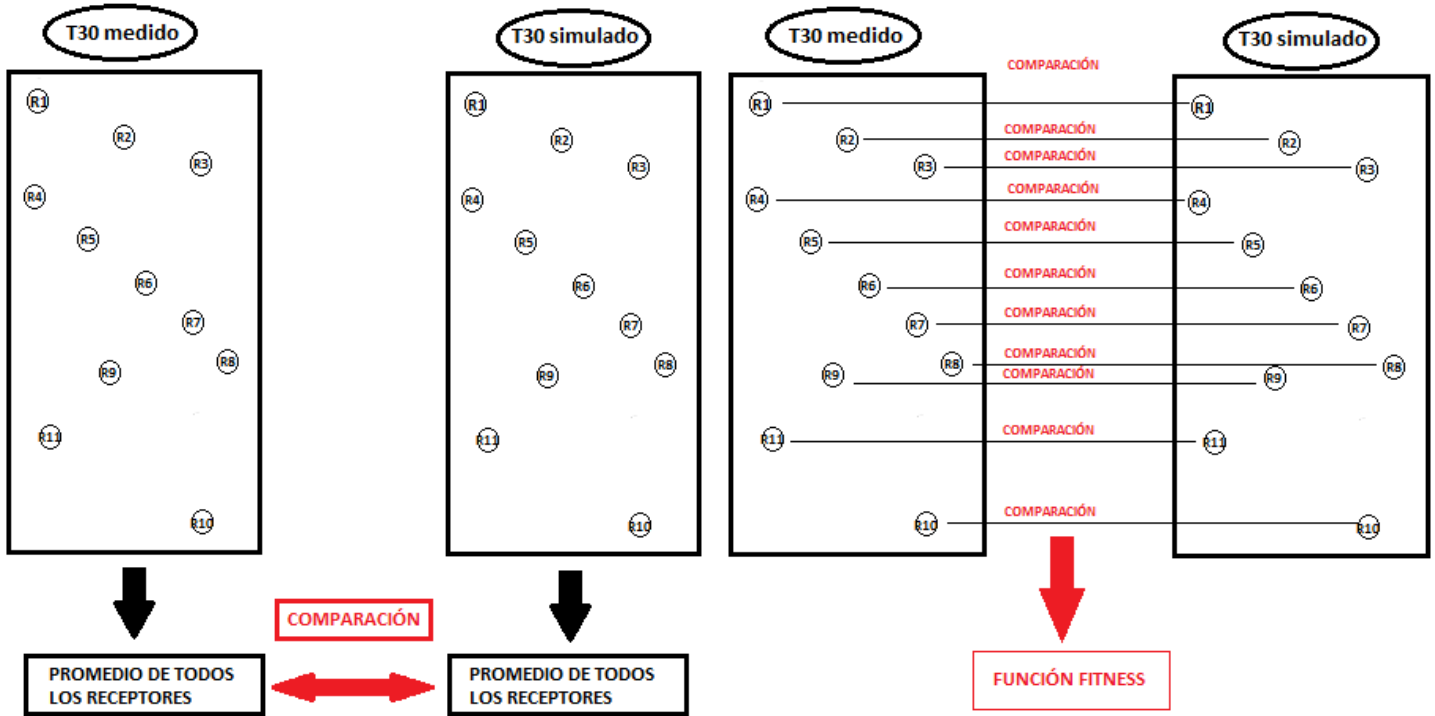
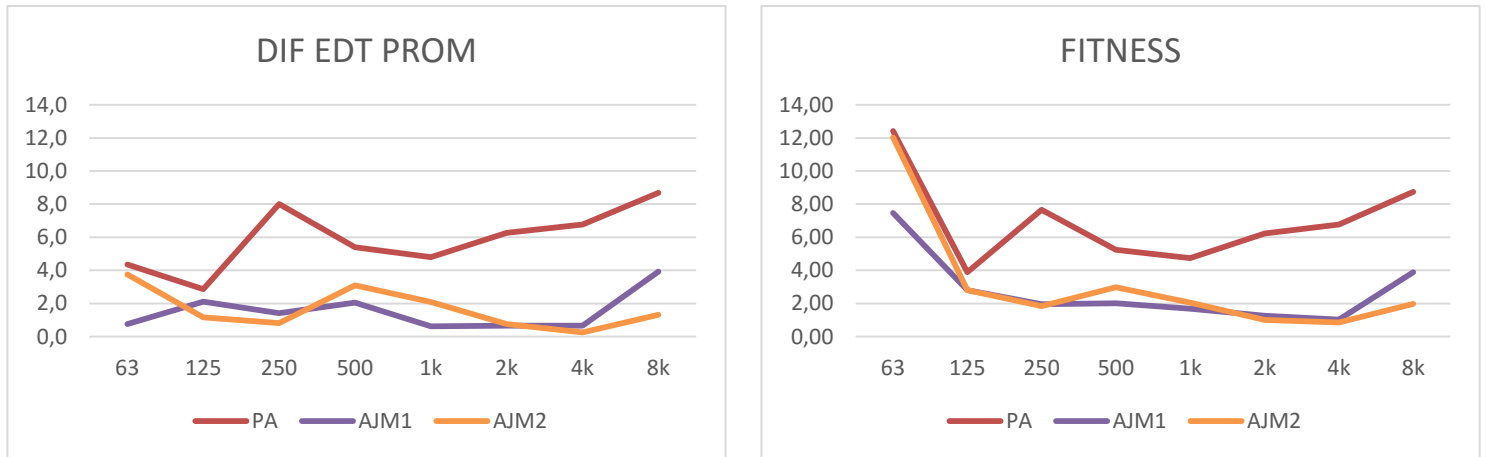


Figura 2.6. Esquema de cómo se realizan las dos comparaciones entre ajustes. (Izda.) Resta de promedios. (Dcha.) fitness.

Un ejemplo claro en el que podemos observar como la diferencia de parámetros promedios están enmascarando resultados peores se observan en los siguientes gráficos 2.8. En los siguientes gráficos el parámetro que se va a comparar es el EDT para los 3 distintos ajustes de la sala: la primera aproximación (PA), el ajuste manual 1 (AJM1) y el ajuste manual 2 (AJM2).

Se observa que para la banda de 63 Hz con la comparación de los promedios se están enmascarando resultados peores que vemos con la función fitness.



Gráfica 2.4 Comparación entre las dos formas en las que se comparan los ajustes. Izda. Promedios. Drcha. Fitness.

2.4.2.2. ANÁLISIS VARIANDO LOS PARÁMETROS QUE INTRODUCIMOS EN LA FUNCIÓN FITNESS.

Para el análisis variando el conjunto de parámetros vamos a ir variando el número de parámetros que introducimos en la función fitness para un conjunto de 11 receptores. Para ello nos centramos en los siguientes estudios (este estudio se ha realizado sobre los resultados del ajuste manual 1):

- Función Fitness (T30)
- Función Fitness (EDT)
- Función Fitness (Ts)
- Función Fitness (D50)
- Función Fitness(C80)
- Función Fitness(G)
- Función Fitness (T30+EDT) tiempos de reverberación:
- Función Fitness (D50+C80):
- Función Fitness (D50+C80+Ts) Energy ratios:
- Función Fitness (EDT+T30+C80+Ts+G+D50) todos los parámetros monoaurales medidos de la sala.

Para llevar a cabo este análisis se realiza un programa en Excel. Dicho programa calcula los valores fitness por bandas de frecuencias para los distintos conjuntos de parámetros en la función fitness. Odeon en su versión 13.04 no permite la opción de exportar dichos datos.

Para poder realizar el programa de excel se debe saber cuál de los valores de los dos tiempos de reverberación emplea Odeon para normalizar a su valor JND. Odeon te da la resta en JND's de cada parámetro y hace la normalización de T30 con el valor del parámetro medido.

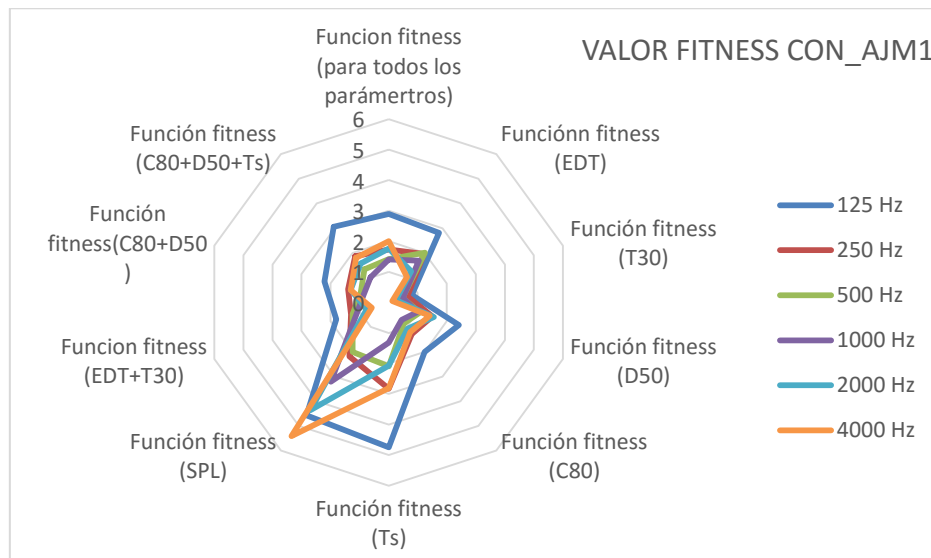
Para finalmente dar por válido el programa se compara los valores de Odeon con los calculados en la hoja excell.

Los resultados de este análisis son los siguientes:

AJUSTE MANUAL 1	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Función fitness (para todos los parámetros)	3,48	2,89	1,73	1,42	1,40	1,76	2,00	3,42
Función fitness (EDT)	7,46	2,81	1,96	2,01	1,69	1,26	1,03	3,89
Función fitness (T30)	3,19	0,80	0,64	0,48	0,49	0,25	0,13	5,47
Función fitness (D50)	2,52	2,42	1,50	1,07	1,00	1,56	1,42	1,41
Función fitness (C80)	2,12	2,00	1,28	0,85	0,72	1,06	1,20	1,15
Función fitness (Ts)	3,21	4,75	2,83	2,10	1,32	2,08	2,81	3,57
Función fitness (G)	2,37	4,57	2,18	2,01	3,21	4,36	5,42	5,00
Función fitness (EDT+T30)	5,33	1,81	1,30	1,24	1,09	0,75	0,58	4,68
Función fitness(C80+D50)	2,32	2,21	1,39	0,96	0,86	1,31	1,31	1,28
Función fitness (C80+D50+Ts)	2,61	3,06	1,87	1,34	1,01	1,57	1,81	2,04

Tabla 2.6 Tabla con los valores fitness del ajuste manual 1 para distintos conjuntos de parámetros en la función fitness.

La siguiente gráfica representa la tabla anterior:



Gráfica 2.5 Representación Tabla 2.6.

Como ya se ha explicado antes, cuanto menor es el valor fitness mejor es el ajuste realizado.

Se observa un pico muy prominente con valores fitness muy altos en todas las frecuencias para el parámetro SPL, 31 dB (G). Si se analiza más en profundidad se ve que es debido a que los valores medidos en los receptores del escenario dan mucha variación de G en frecuencias. Las figuras siguientes muestran estas diferencias Figura 2.7.

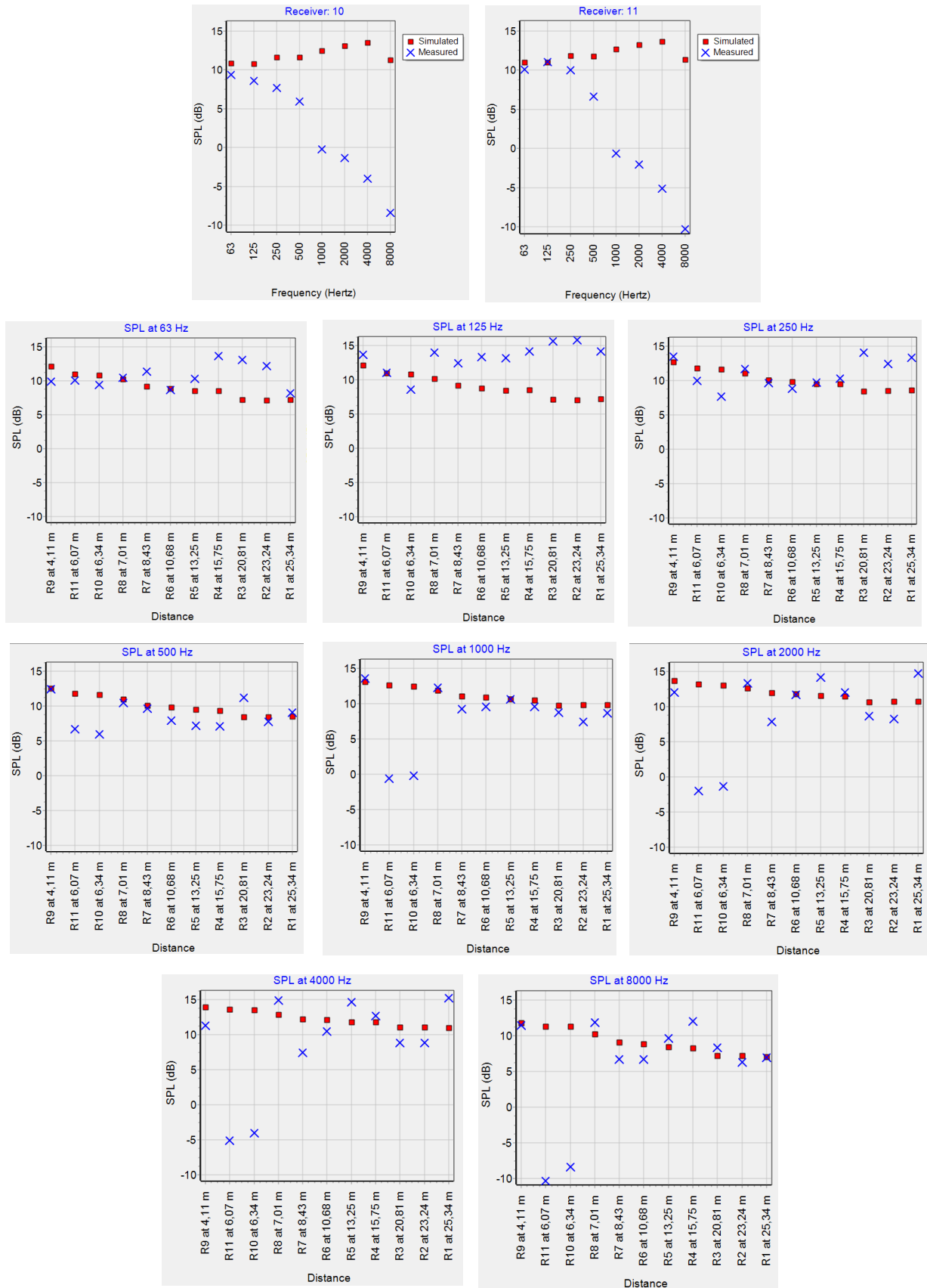


Figura 2.7. Muestran las diferencias de los valores de G. Los dos de arriba muestran el SPL de cada receptor del escenario. El resto, muestra las diferencias entre receptores y cada imagen es una frecuencia).

Estas diferencias tan grandes pueden ser debidas a que las medidas de los receptores del escenario se realizaron en una fecha distinta a la de los de la audiencia. Puede ser que el día de la medición hubiera alguna condición distinta que provocara esta diferencia y que el programa de simulación acústica no es capaz de simular.

En conclusión, para la función fitness final se ha decidido meter el máximo de parámetros. Cuantos más parámetros se introduzcan, más parámetros se ajustarán y en consecuencia mejor será el ajuste final que se obtenga.

En este caso en el que se observa que el SPL tiene diferencias muy grandes en sus mediciones, se podría valorar el excluirlo del estudio. Odeon no será capaz de simular diferencias tan significativas y se estarán empleando recursos en intentar ajustar dicho parámetro. Puede ser que Odeon por intentar ajustar al máximo todos los parámetros no ajuste igual de bien el resto

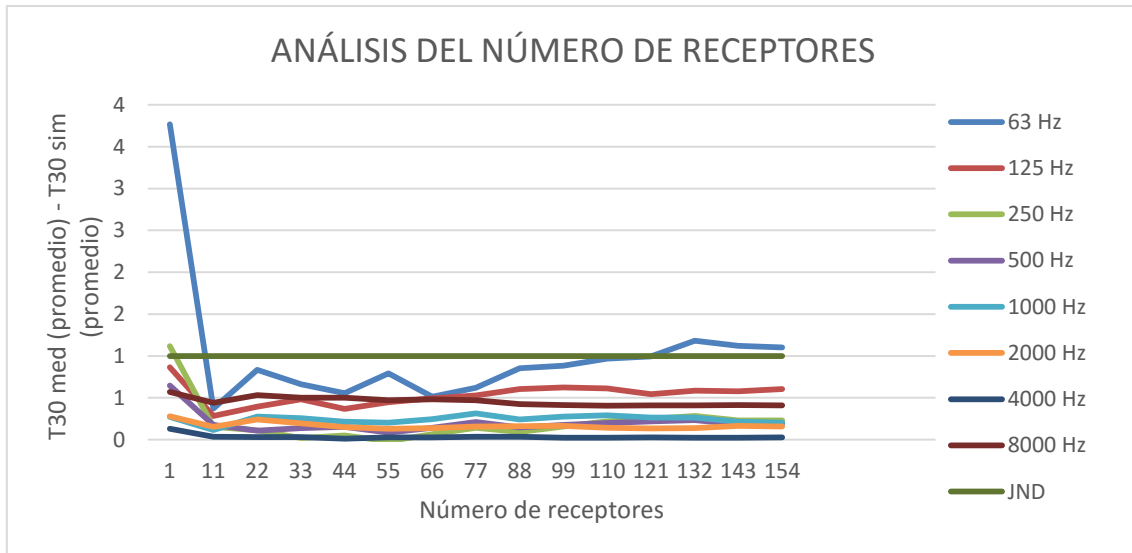
Para el resto de estudios se deja este parámetro en la función para ver qué resultados nos darán los ajustes automáticos.

2.4.2.3. ANALISIS VARIANDO EL NÚMERO DE RECEPTORES.

En este apartado se analizan las diferencias del ajuste por el hecho de ir aumentando el número de receptores (este análisis se realiza sobre el ajuste manual 1). Lo que se quiere saber es si con el número de receptores establecido podemos llegar a un buen ajuste o ver si el ajuste varía mucho por el hecho de aumentar en número o en posición.

Para este análisis se va a analizar la diferencia del T30 promedio medido y simulado por bandas aumentando el número de receptores de 11 en 11, para ver si hay cambios significativos.

En la siguiente gráfica 2.6 se muestran los resultados para un total de 154 receptores donde no se han apreciado diferencias significativas.



Gráfica 2.6. Análisis de la resta de T30 promedios aumentando en receptores por frecuencias.

A continuación se muestran los gráficos del T30 promedio para 11 receptores y otro para un total de 461.

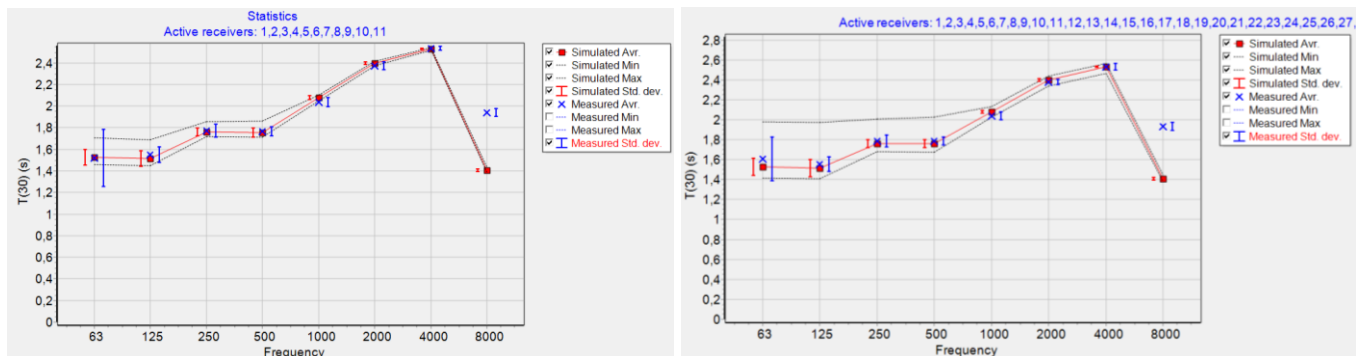


Figura 2.8. T30 promedio medidos y simulados (izda.) para un total de 11 receptores. (Dcha.) para un total de 461 receptores.

Las conclusiones que se sacan de este análisis son que para el conjunto de receptores que establece la ISO 3382 sería suficiente para realizar un buen ajuste, siempre y cuando su elección sea representativa de la sala. Con esto nos ahorraremos mucho tiempo de computación.

También se ha observado que a partir de 231 receptores, al introducir el parámetro EDT en el análisis automático el programa no responde.

- Análisis de los resultados con otros 11 receptores.

Se han cambiado los 11 receptores empleados en todos los análisis anteriores por otro 11 para mirar si la forma de las gráficas varía por el hecho de cambiar de receptores.

A priori lo que es de esperar es que los resultados no cambien, ya que hemos visto que por el hecho de aumentar en número tampoco variaban los resultados.

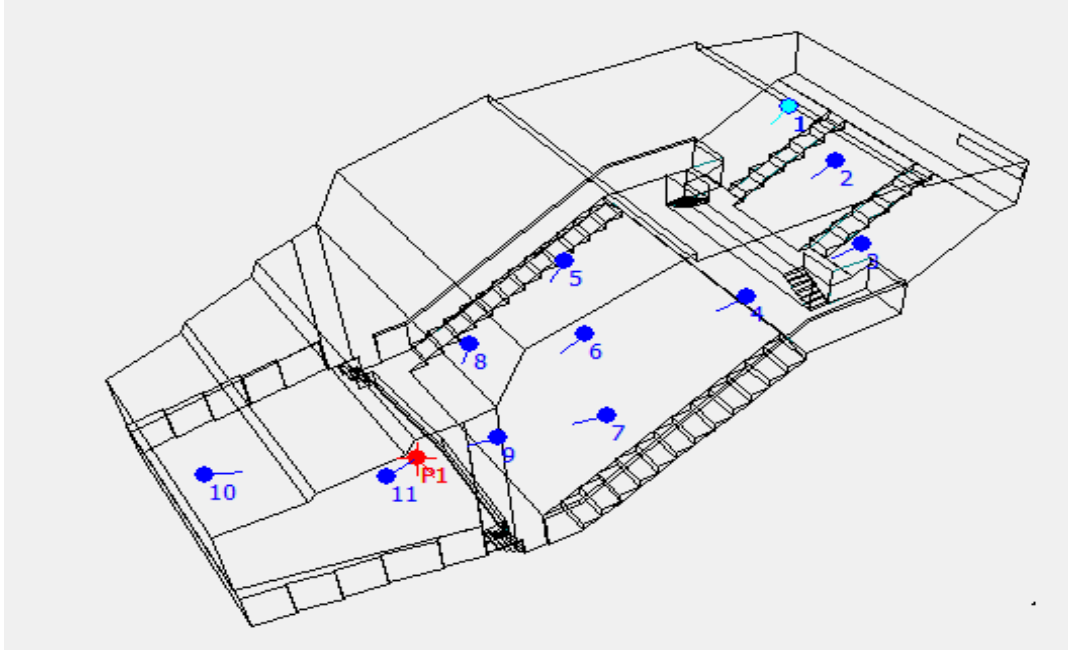


Figura 2.9. Disposición de los otros 11 receptores elegidos.

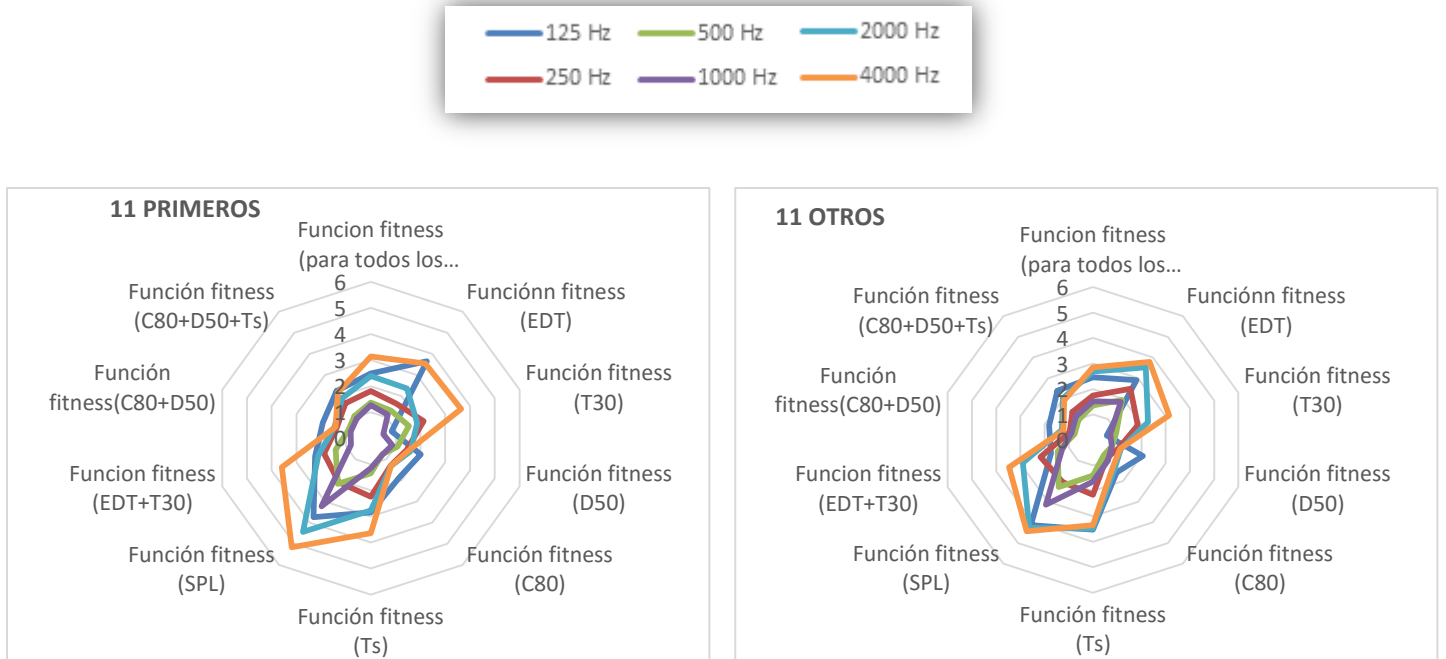
RECEPTOR	EQUIVALE CON LA MEDIDA	LOCALIZACION
1	39	AUDIENCIA
2	56	AUDIENCIA
3	94	AUDIENCIA
4	120	AUDIENCIA
5	189	AUDIENCIA
6	239	AUDIENCIA
7	289	AUDIENCIA
8	316	AUDIENCIA
9	368	AUDIENCIA
10	E7	ESCENARIO
11	E61	ESCENARIO

Tabla 2.7. Equivalencia con el número de medida de cada receptor y su localización en la sala.

Se va a comparar los valores fitness para cada conjunto de parámetros para este conjunto de receptores y se compara con el de los 11 receptores elegidos antes. Se dejarán simular los dos con los valores por defecto y un total de 5 generaciones.

En las gráficas de los resultados se puede observar que la forma de las gráficas se mantiene, es decir, que no hay variación apenas por el hecho de seleccionar otros 11 receptores (Estos otros 11 receptores también están escogidos de manera representativa de la sala).

Como es de esperar los resultados del fitness para los 11 receptores que se tenían es mejor ya que son con los que se ha ajustado la curva T30 promedio.



Gráfica 2.7. Gráficas de la función fitness.

Si se observa la gráfica para todos los parámetros en la función fitness, que son los parámetros que hemos medido en esta función, se ve claramente, que es algo mejor el de los 11 receptores con los que se ha realizado el ajuste. Estas diferencias no se consideran significativas. El hecho de seleccionar otros receptores no proporciona diferencias significativas



Gráfica 2.8 (Gráficas del valor fitness con todos los valores en la función fitness).

2.4.3. COMPARACIÓN MEDIANTE LA FUNCIÓN FITNESS.

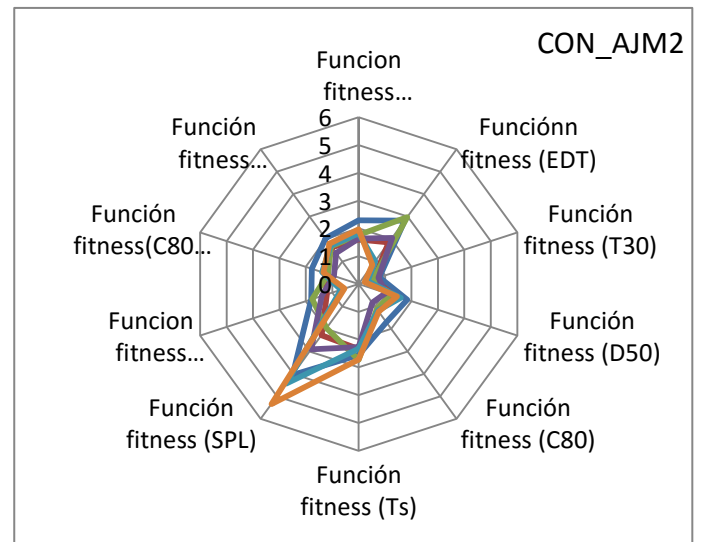
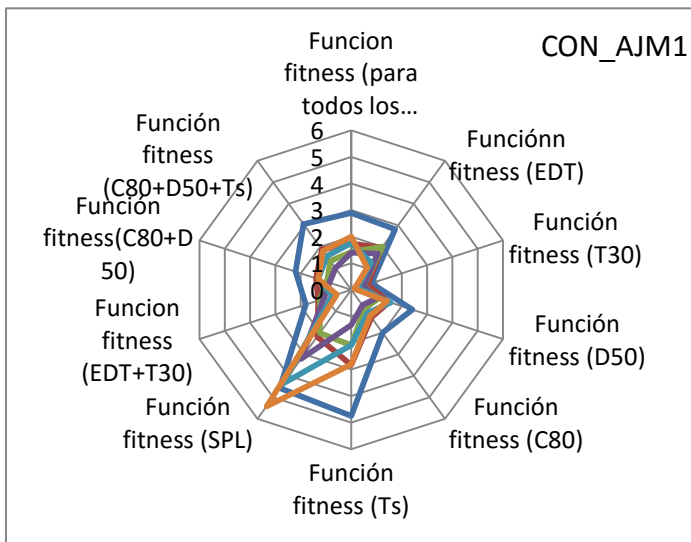
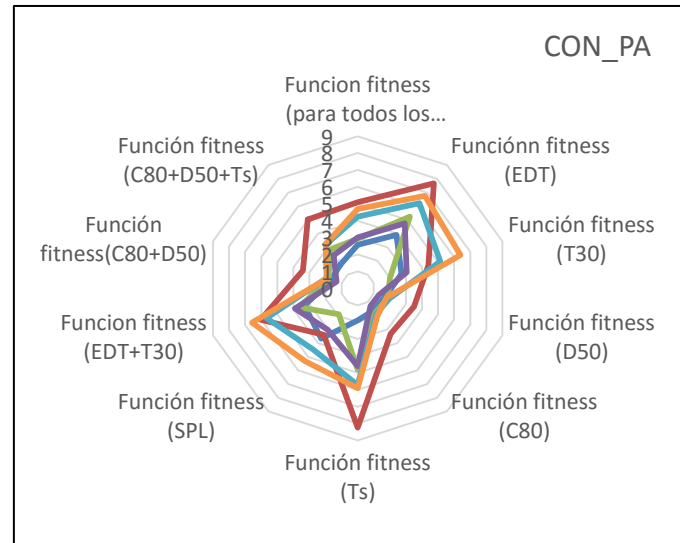
Una vez hecha la comparación mediante el T30 de los ajustes manuales, se hace un análisis más profundo para el conjunto de todos los parámetros mediante la función fitness.

AJUSTE MANUAL 1	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Función fitness (para todos los parámetros)	3,48	2,89	1,73	1,42	1,40	1,76	2,00	3,42
Función fitness (EDT)	7,46	2,81	1,96	2,01	1,69	1,26	1,03	3,89
Función fitness (T30)	3,19	0,80	0,64	0,48	0,49	0,25	0,13	5,47
Función fitness (D50)	2,52	2,42	1,50	1,07	1,00	1,56	1,42	1,41
Función fitness (C80)	2,12	2,00	1,28	0,85	0,72	1,06	1,20	1,15
Función fitness (Ts)	3,21	4,75	2,83	2,10	1,32	2,08	2,81	3,57
Función fitness (SPL)	2,37	4,57	2,18	2,01	3,21	4,36	5,42	5,00
Función fitness (EDT+T30)	5,33	1,81	1,30	1,24	1,09	0,75	0,58	4,68
Función fitness(C80+D50)	2,32	2,21	1,39	0,96	0,86	1,31	1,31	1,28
Función fitness (C80+D50+Ts)	2,61	3,06	1,87	1,34	1,01	1,57	1,81	2,04

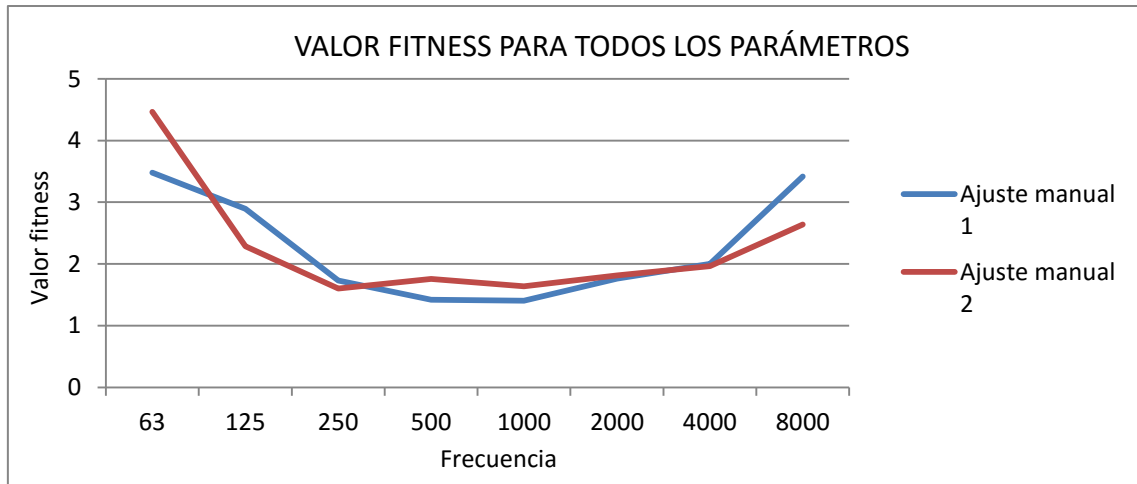
Tabla 2.8. Tabla de valores fitness del CON_AJM1.

AJUSTE MANUAL 2	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Función fitness (para todos los parámetros)	4,47	2,29	1,60	1,76	1,64	1,82	1,97	2,64
Función fitness (EDT)	12,04	2,82	1,85	2,98	2,04	1,02	0,85	1,98
Función fitness (T30)	3,17	0,78	0,56	0,54	0,74	0,33	0,23	1,47
Función fitness (D50)	3,30	1,84	1,37	1,21	1,03	1,60	1,45	1,93
Función fitness (C80)	2,49	1,70	1,21	1,11	0,83	1,18	1,22	1,49
Función fitness (Ts)	3,69	2,55	2,34	2,74	2,27	2,33	2,72	3,86
Función fitness (SPL)	2,11	4,04	2,29	1,97	2,90	4,44	5,34	5,13
Función fitness (EDT+T30)	7,60	1,80	1,20	1,76	1,39	0,68	0,54	1,72
Función fitness(C80+D50)	2,89	1,77	1,29	1,16	0,93	1,39	1,33	1,71
Función fitness (C80+D50+Ts)	3,16	2,03	1,64	1,69	1,38	1,70	1,79	2,42

Tabla 2.9. Tabla de valores fitness del CON_AJM1.



Gráfica 2.9. Gráficas representativas de los valores fitness para distintos conjuntos de parámetros (Arriba.) primera aproximación. (Izda.) Ajuste manual 1. (Dcha.) Ajuste manual 2.



Gráfica 2.10. Comparación de los dos ajustes manuales mediante el valor fitness para todos los parámetros en la función fitness.

En cuanto a fitness con todos los parámetros se observan mejores resultados en las bandas centrales para el ajuste 1, y sin embargo en las demás bandas presenta mejores resultados el ajuste 2.

En ambos casos cabe destacar que el parámetro SPL nos da resultados muy malos como se observa en los picos de fitness de las dos gráficas anteriores debido a lo antes mencionado.

También comentar el parámetro EDT, parece ser el parámetro que menos ajustado ha quedado.

Una de las conclusiones que se puede extraer de estos ajustes manuales es que para dos ajustes completamente distintos en cuanto a materiales se obtienen valores fitness muy parecidos y ambos cumplen el criterio establecido.

También se observa que ajustando un único parámetro se obtienen resultados mejores de forma general. No solo para el parámetro que ha sido ajustado.

2.5. AJUSTE AUTOMÁTICO DE LA SALA.

2.5.1. ANÁLISIS DEL AJUSTE AUTOMÁTICO.

Una vez se tiene ya establecida la función fitness que se empleará para realizar los ajustes automáticos y el número de receptores. Se pasará a analizar los parámetros variables que presenta la herramienta “genetic material optimizer”.

Los valores por defecto que tiene establecidos Odeon en su herramienta “Genetic material optimizer” son los siguientes:

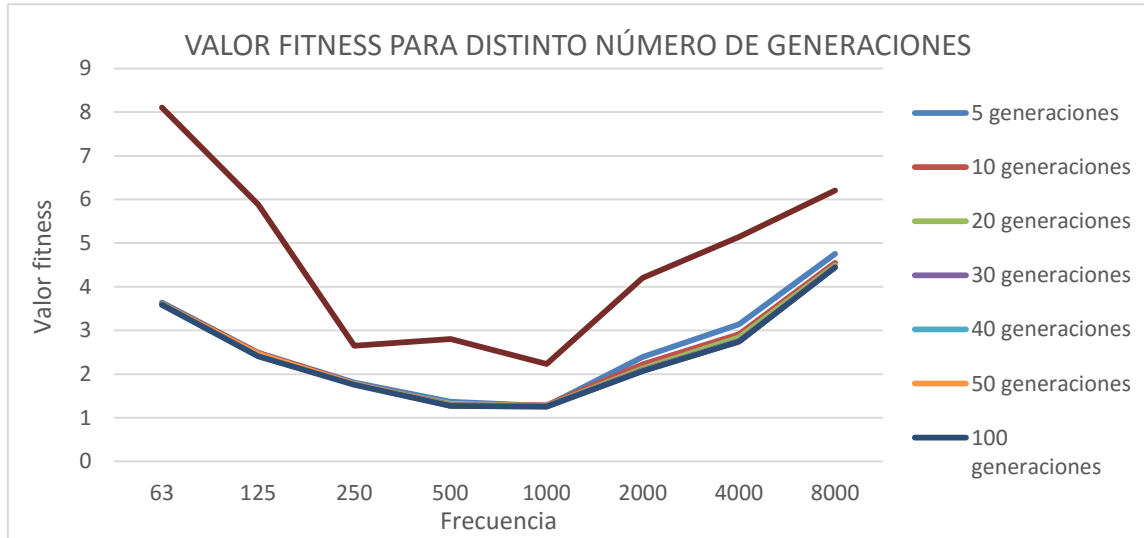
- Método de cruce: Gene Exchange.
- Método de evolución: sm Elitista.
- Número de individuos por material: 2, aunque como ponía en la documentación que el valor óptimo era 4 se utilizará ese valor.
- Probabilidad de cruce: 98%
- Probabilidad de inversión: 10%
- Probabilidad de mutación: 1%
- Porcentaje elitista: 50%
- Porcentaje de variación de los materiales: 50%

2.5.1.1. ANÁLISIS VARIANDO EL NÚMERO DE GENERACIONES.

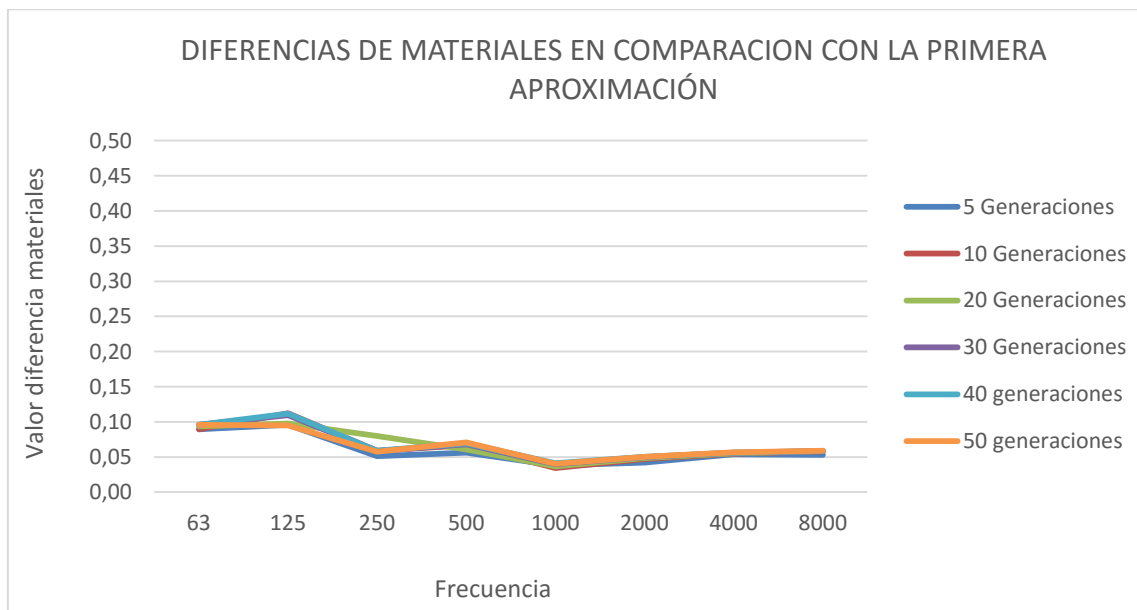
Este análisis de lo que trata es de ver hasta qué número de generaciones hay diferencias significativas en el valor fitness y en consecuencia en las gráficas del T30 promedio. También pretende observar cómo van variando los materiales durante el proceso evolutivo. Se van aumentando el número de generaciones.

Para este análisis se parte de una primera aproximación de la sala, en la que parámetro T30 no cumple el criterio de ajuste establecido en ninguna banda. Se realiza el ajuste automático para todos los parámetros en la función fitness y con los valores de la herramienta por defecto partiendo de ese primer ajuste.

En las siguientes gráficas se observan las diferencias en los valores fitness para una función fitness con todos los parámetros y para distintas generaciones. A continuación se muestra la gráfica con la diferencia de materiales hecha mediante la función diferencia de materiales en comparación con la primera aproximación.



Gráfica 2.11. Valores fitness con todos los parámetros en la función para distinto número de generaciones.

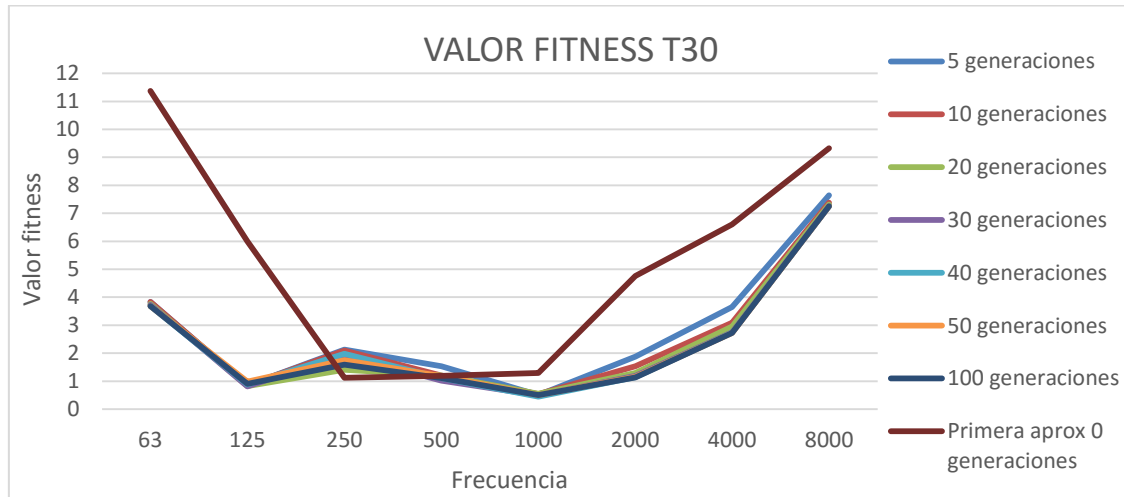


Gráfica 2.12. Valor diferencia de materiales de cada ajuste con distintas generaciones, en comparación con la primera aproximación de la sala.

Conclusiones extraídas: Se observa que los cambios más significativos se producen en las primeras 5 generaciones en cuanto a valores fitness. A partir de la generación 30 no se aprecian apenas mejoras. También se ve que los materiales para todas las generaciones son prácticamente iguales, e incluso sus diferencias con la primera aproximación no son significativas.

Al partir de una situación no ajustada, como es el caso de la primera aproximación de la que se parte en este análisis, no se llega a cumplir el criterio de ajuste establecido para ninguno de los casos anteriores. La variación de los materiales marcada del 50% no deja que se llegue a un buen ajuste por muchas generaciones que se le permitan.

En la siguiente gráfica se muestra el valor fitness para el T30 donde vemos que solo la banda de 125 Hz y la de 1000 Hz están por debajo de 1 JND.



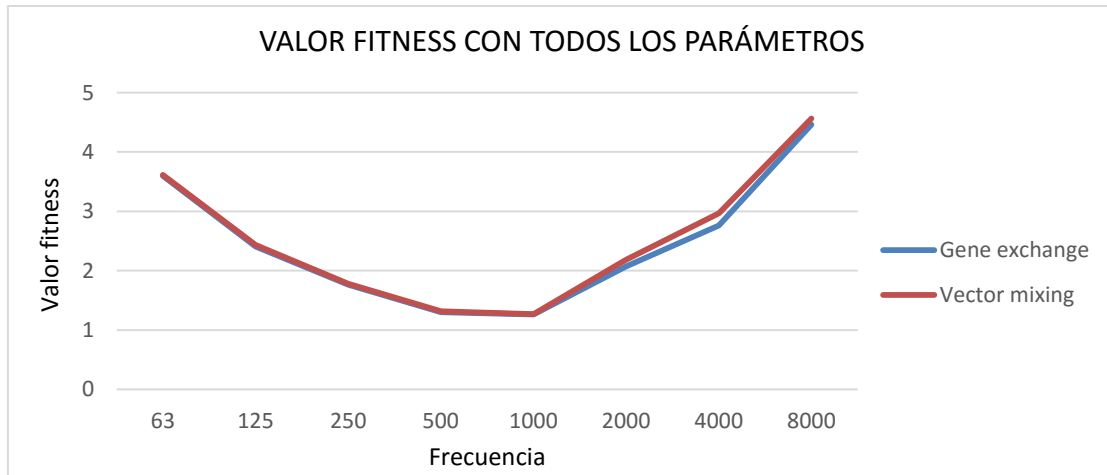
Gráfica 2.13. Valor fitness del parámetro T30 para distinto número de generaciones.

Con todo este estudio se puede concluir que 5 generaciones podrían valer para ajustar la sala. Y con 30 asegurarse que ya no habrá mejoras. Se pueden dejar más generaciones aunque sabiendo que el tiempo y el coste de computación son mayores sin mejoras apreciables.

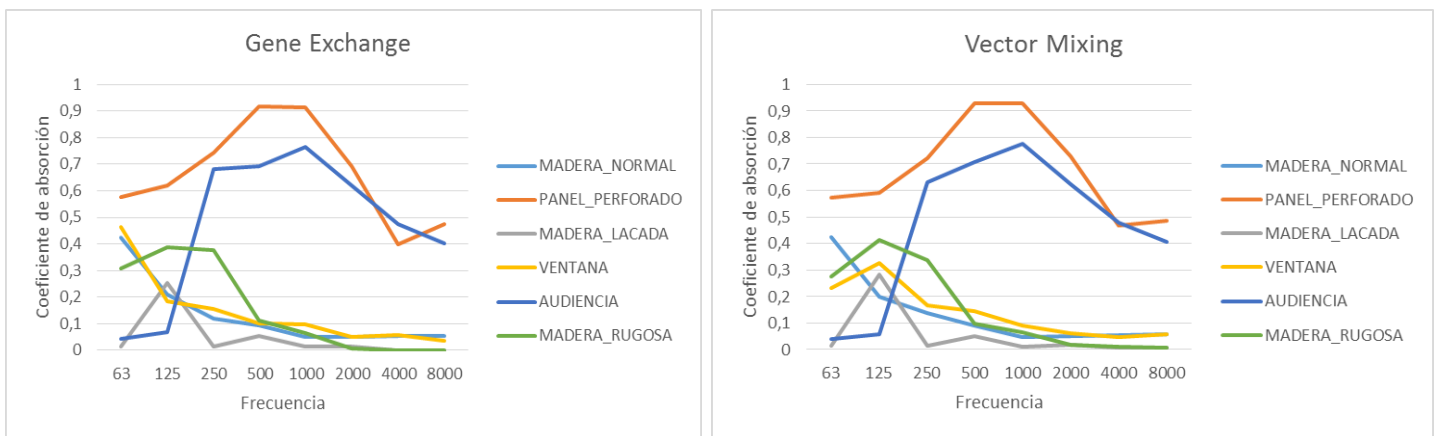
2.5.1.2. ANÁLISIS VARIANDO EL MÉTODO DE CRUCE.

En este apartado se analiza cómo funciona la herramienta automática variando el método de cruce, este parámetro solo da dos posibilidades, gene Exchange y vector mixing. Para observar las variaciones de este parámetro se dejan el resto de parámetros en su valor por defecto y se dejan simulando un total de 30 generaciones, que como se ha visto en el apartado anterior se consideran suficientes.

La gráfica 2.14 muestra el valor fitness para el conjunto de todos los parámetros y a continuación la gráfica.2.15 nos muestra las curvas de absorción resultantes de cada uno de los casos.



Gráfica 2.14. Valor fitness para todos los parámetros para diferente método de cruce.



Gráfica 2.15. Valor de los coeficientes de absorción por frecuencias para los distintos materiales.

Como se observa en la gráfica anterior, transcurrida las 30 generaciones y habiendo partido del mismo ajuste, el intercambio de genes es el que mejor resultado presenta para el conjunto total de parámetros. Estas diferencias no son significativas, ni en cuanto a valores fitness ni para la diferencia de materiales. Se puede decir que proporcionan resultados prácticamente iguales.

Se podría dar por válido cualquiera de estos dos parámetros para realizar el estudio. Se dejará el gene Exchange ya que es el valor por defecto que proporciona la herramienta.

2.5.1.3. ANÁLISIS VARIANDO EL MÉTODO DE EVOLUCION O DE SELECCIÓN

Para un total de 300 generaciones:

De lo que se trata en este apartado es de observar cuál de los métodos de evolución proporciona mejores resultados.

Se partirá en todos los casos de la primera aproximación del ajuste de la sala, con un conjunto de 11 receptores y metiendo en la función fitness todos los parámetros que tenemos (EDT, T_{30} , G, T_s , D_{50} y C_{80}).

Lo que se espera a priori de este experimento es que los métodos no aleatorios (los que se quedan siempre con los mejores individuos), como son el elitista, tournament, stochastic Tournament y con el porcentaje elitista más restrictivo, nos proporcionen mejores resultados, frente a los que eligen a los individuos de la siguiente generación de manera aleatoria. También cabe la posibilidad que eligiéndolos al azar los más ajustados sean escogidos.

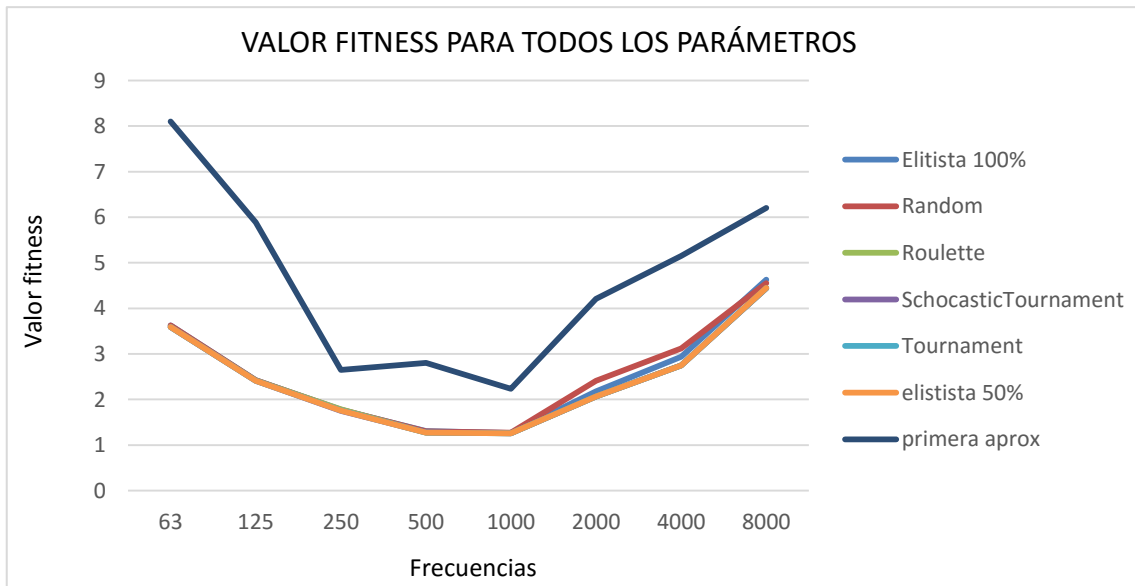
Se va a realizar el análisis con todos los valores por defecto pero con 4 individuos por generación y se realizan las siguientes simulaciones:

- Con el método de selección elitista y poniendo el porcentaje elitista al 100%.
- Con el método de selección Tournament.
- Con el método de selección stochastic Tournament.
- Con el método de selección Roulette.
- Con el método de selección Random.

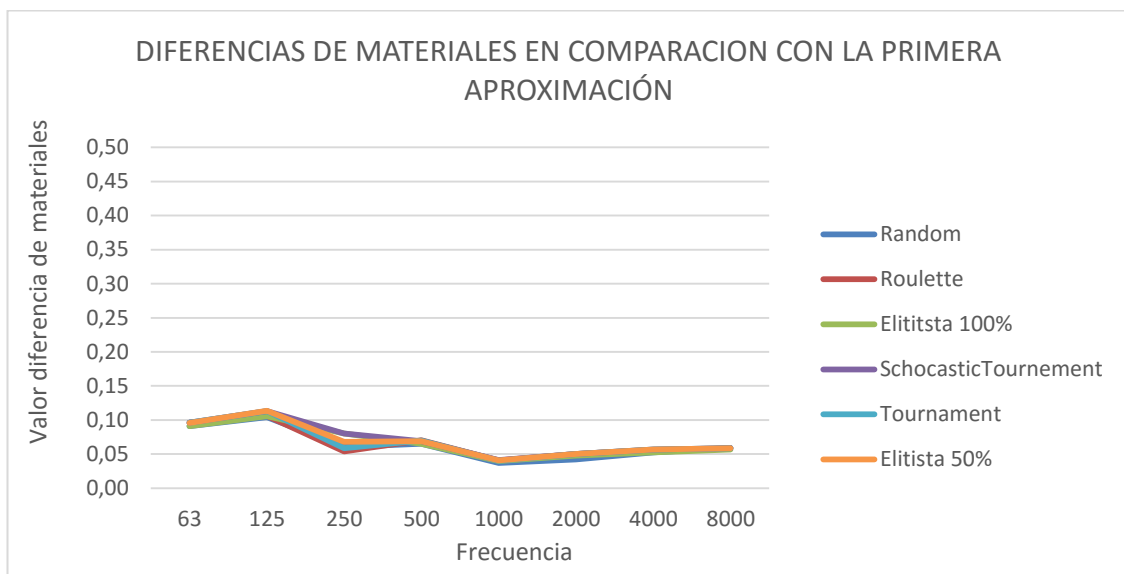
En el gráfico 2.15 se observa el valor fitness para todos los parámetros y para cada método de evolución una vez transcurridas las 300 generaciones. Como se puede observar aunque cada método siga una regla distinta, después de muchas generaciones terminan convergiendo a la misma solución en cuanto a fitness.

En cuanto a diferencias en los materiales, observando la Gráfica 2.16 en la que se comparamos todos entre la primera aproximación de la que parten, se ve que los materiales son prácticamente iguales.

Lo que se puede concluir es que para un número suficiente de generaciones será indiferente el método de evolución que se seleccione ya que todos los métodos convergen prácticamente a la misma solución en cuanto a valor fitness y en cuanto a materiales.



Gráfica 2.16. Valor fitness para el conjunto de todos los parámetros en la función, variando el método de selección y un total de 300 generaciones.

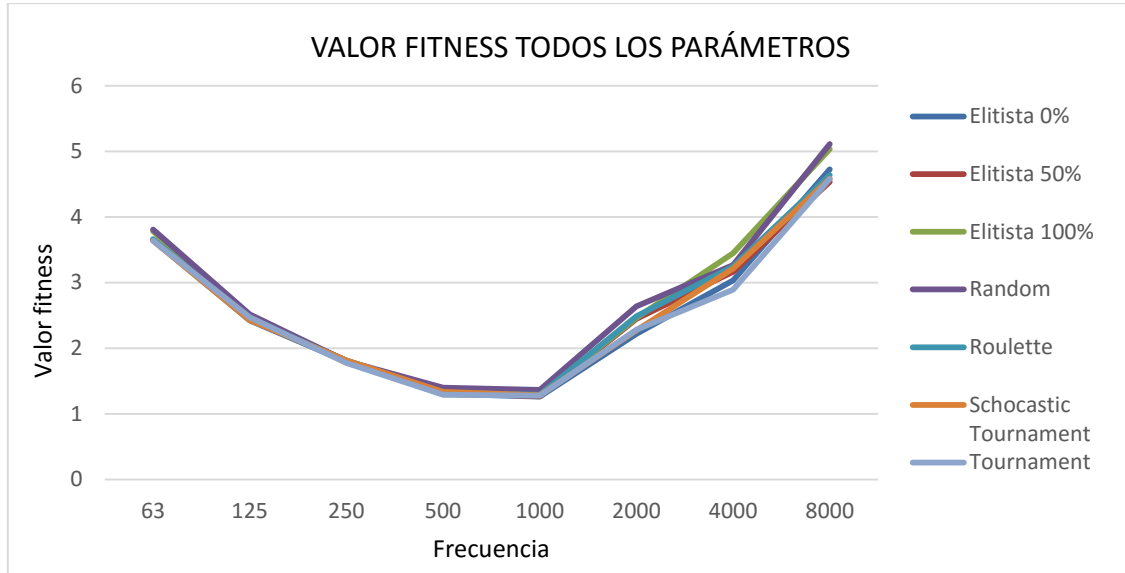


Gráfica 2.17 Valor diferencia de materiales en comparación con la primera aproximación de la que parten para distintos métodos de evolución.

Visto lo anterior de lo que se va a tratar ahora es de ver cuál de los métodos de evolución converge más rápido. Para ello se reduce el número de generaciones a 5.

Para un total de 5 generaciones:

A continuación se va a volver a repetir el experimento anterior pero para 5 generaciones únicamente y añadiremos otro caso más. El elitista 0%.



Gráfica 2.18. Valor fitness para el conjunto de todos los parámetros en la función variando el método de selección y un total de 5 generaciones.

En este experimento observamos que también han convergido a una buena solución todos los métodos. Se pueden apreciar más diferencias entre ellos en este caso, sobre todo para las altas frecuencias.

Además, se observa que para menos generaciones los métodos que mejores resultados dan son los métodos que escogen en generaciones únicamente a los mejores, es decir estos convergen más rápidamente.

En conclusión: Para un número suficiente de generaciones, todos los métodos de evolución convergen a la misma solución en cuanto a valores fitness. En cuanto a materiales, las diferencias que presentan tampoco son significativas. En el caso de que las generaciones que se dejen simular sean pocas, es conveniente elegir un método de evolución que no elija a los individuos de una generación de forma aleatoria.

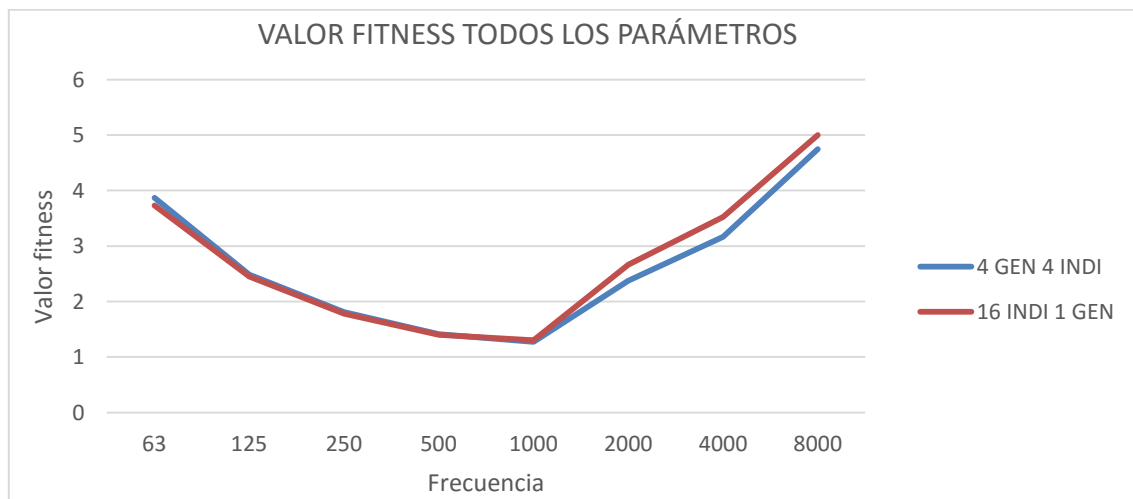
2.5.1.4. ANÁLISIS VARIANDO EL NÚMERO DE INDIVIDUOS POR MATERIAL

En este apartado se van a comparar dos análisis distintos, el primero consiste en dejar simular 4 generaciones con 4 individuos por generación y el otro en dejar simular 1 generación con 16 individuos. El resto de parámetros se dejan en su valor por defecto.

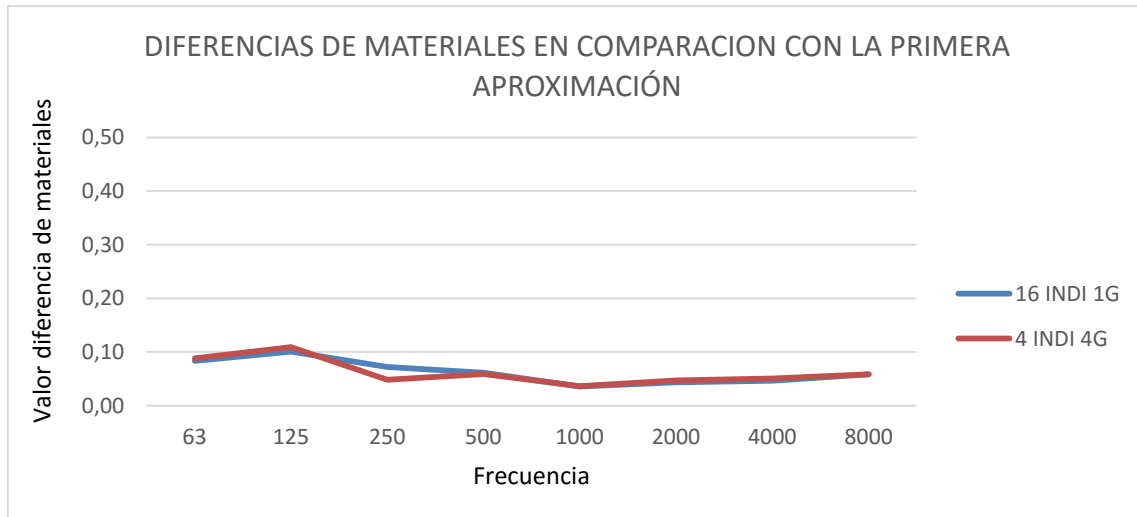
A priori es de esperar que cuantas más generaciones se dejen simular mejores resultados se obtendrán ya que en cada generación vas limitando los individuos exclusivamente a un porcentaje de los mejores (hablando del método de evolución por defecto, elitista). El número de soluciones que se comparan en total es el mismo (16).

Las mejores soluciones nos las da la simulación que ha dejado más generaciones pasar, como se suponía antes de realizar el experimento.

Para observar las diferencias vamos a fijarnos en la función fitness para todo el conjunto de parámetros, (Figura 2.18). Aunque la diferencia no sea muy grande los mejores resultados los presenta el ajuste que ha permitido más generaciones.



Gráfica 2.19. Función fitness con todos los parámetros para distinto número de generaciones e individuos.



Gráfica 2.20. Diferencia de los materiales de cada uno de los análisis en comparación con la primera aproximación.

En otros tipos de métodos de selección como puede ser el Random en el que los individuos se eligen completamente al azar, no se puede saber a priori cuál de las dos simulaciones dará mejores resultado.

Aunque se aprecie una mejora muy leve en el valor fitness, las dos soluciones son igualmente válidas. Las diferencias que se observan no son significativas.

2.5.2. AJUSTE AUTOMÁTICO DE LA SALA (MEDIANTE LA HERRAMIENTA “GENETIC MATERIAL OPTIMICER”)

En este apartado se va a tratar de analizar los resultados de distintos ajustes automáticos. Vamos a analizar los valores que nos da su función fitness y compararlos con los ajustes manuales y analizando sus diferencias en cuanto a valores fitness y en cuanto a diferencia de materiales.

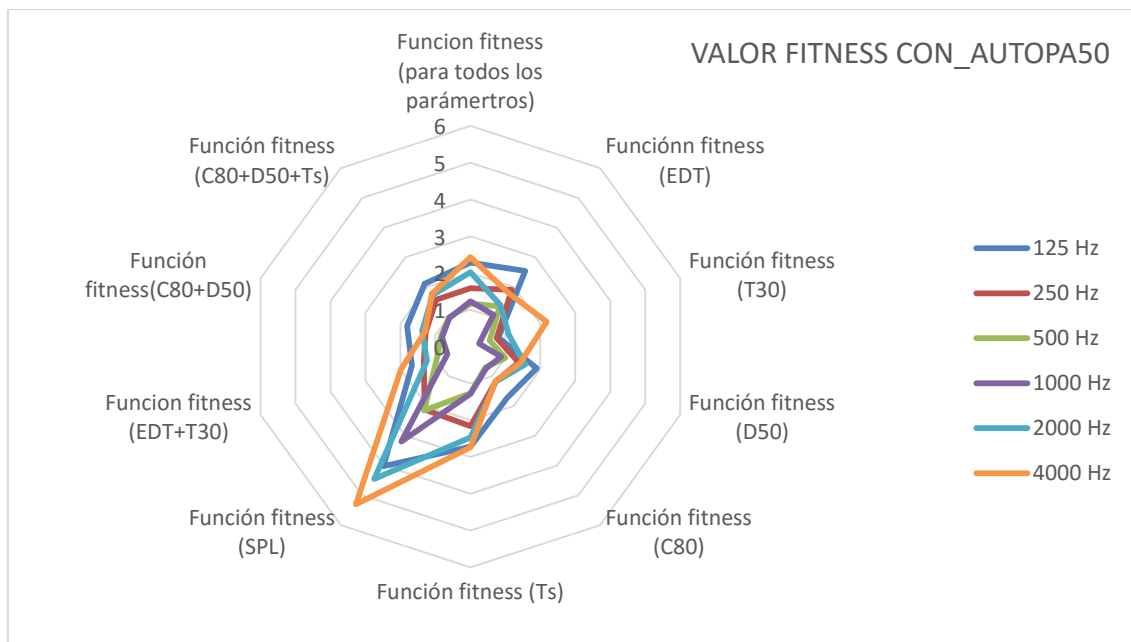
2.5.2.1. ANALISIS DEL AJUSTE AUTOMATICO CON LOS VALORES POR DEFECTO PARTIENDO DE DISTINTOS AJUSTES MANUALES

Se van a comparar los resultados obtenidos con la herramienta automática de ajuste partiendo de distintos ajustes de inicio.

Todos estos ajustes se harán con los valores que tiene la herramienta por defecto y los cuales se han antes. Los distintos ajustes automáticos se realizaran con todos los parámetros en la función fitness y para un conjunto total de 11 receptores.

Vamos a comparar cada uno de estos análisis mediante su valor fitness, con diferentes conjuntos de parámetros en la función fitness y para un conjunto total de 11 receptores con la misma disposición que la que hemos utilizado en el ajuste manual. Todos estos ajustes se realizarán partiendo de distintos ajustes iniciales de la sala. En todos los casos se dejará correr un número suficiente de generaciones para que se llegue a una buena solución. En este caso se han dejado un total de 70 generaciones, que como se ha visto en los apartados anteriores, se consideran suficientes en esta sala:

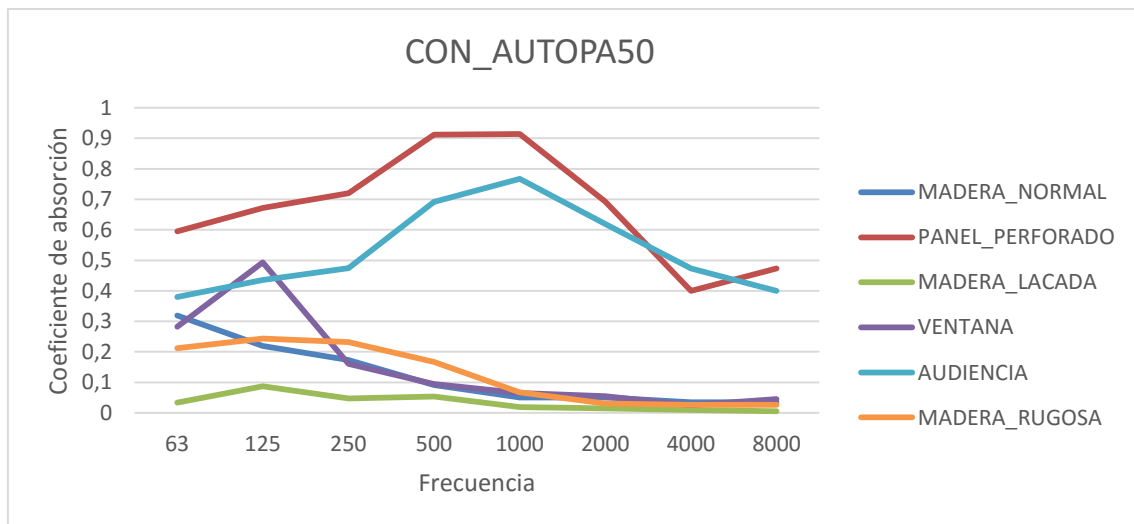
- **Partiendo de la primera aproximación con el 50% de variación del coeficiente de absorción de los materiales. CON_AUTOPA50.**



Gráfica 2.21. Valores fitness para el ajuste CON_AUTOPA50 con distintos conjunto de parámetros en la función fitness.



Gráfica 2.22. Valor fitness para el parámetro T30 en el ajuste CON_AUTOPA50.

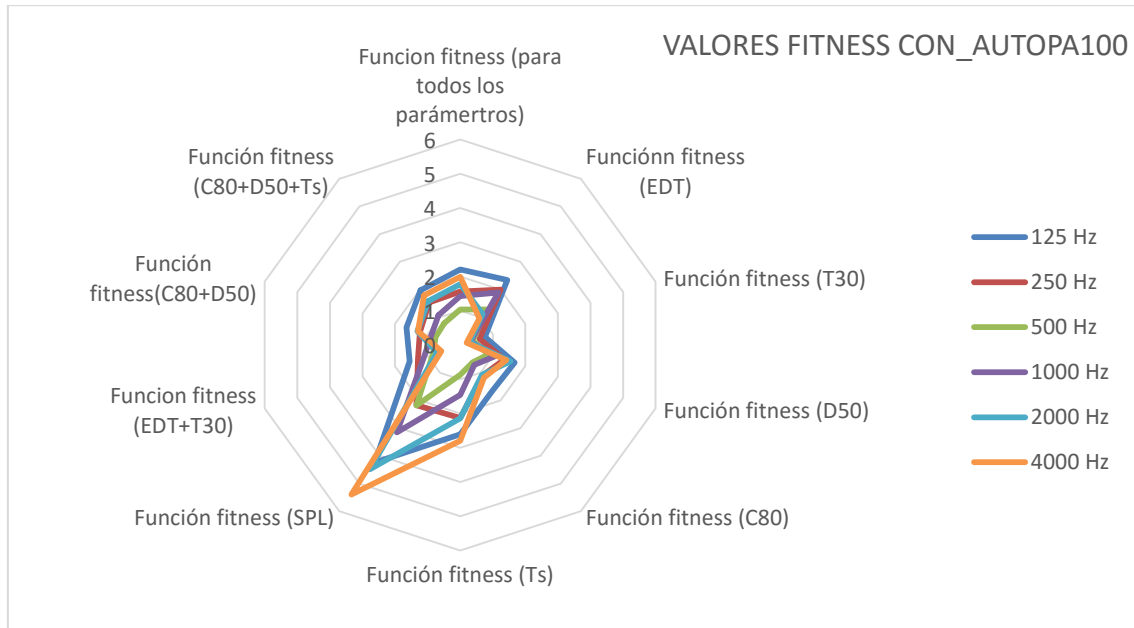


Gráfica 2.23. Coeficientes de absorción resultantes del ajuste CON_AUTOPA50.

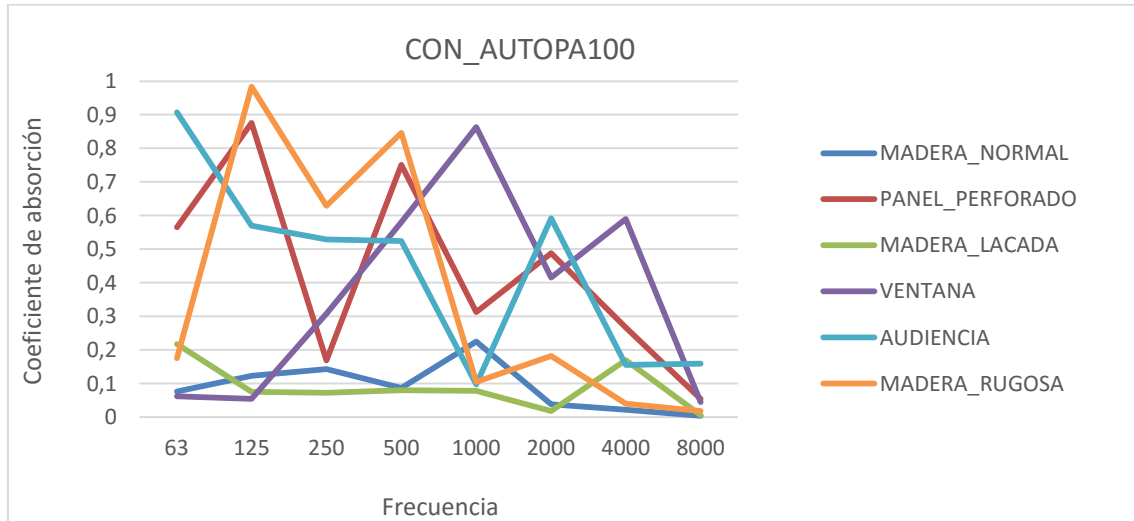
Con estos nuevos materiales (Gráfica 2.23) obtenidos del ajuste automático observamos que se ha ajustado la curva de T30 exceptuando las bandas de 2000 y 4000 Hz. El hecho de que las altas frecuencias no estén ajustadas, puede ser debido a que al partir de una primera aproximación tan desajustada, y solo permitiendo a los materiales esa variación, nunca se logrará el ajuste completo de la curva. Este ajuste no cumple nuestro criterio de ajuste inicial por lo que no se podría considerar una solución válida.

A parte de ajustar el T30 también se observa una mejora del resto de parámetros.

- Partiendo de la primera aproximación con el 100% de variación del coeficiente de absorción en todos los materiales. CON_AUTOPA100.



Gráfica 2.24. Valores fitness para el ajuste CON_AUTOPA100 con distintos conjunto de parámetros en la función fitness.



Gráfica 2.25. Coeficientes de absorción resultantes del ajuste CON_AUTOPA100.



Gráfica 2.26. Valor fitness para el parámetro T30 en el ajuste CON_AUTOPA100.

Este ajuste parte de las mismas condiciones que el anterior pero exceptuando el porcentaje de variación que se les permite a los materiales de la sala. En este caso la variación es del 100%, dejando a todos los materiales tomar el valor que sea de 0-1.

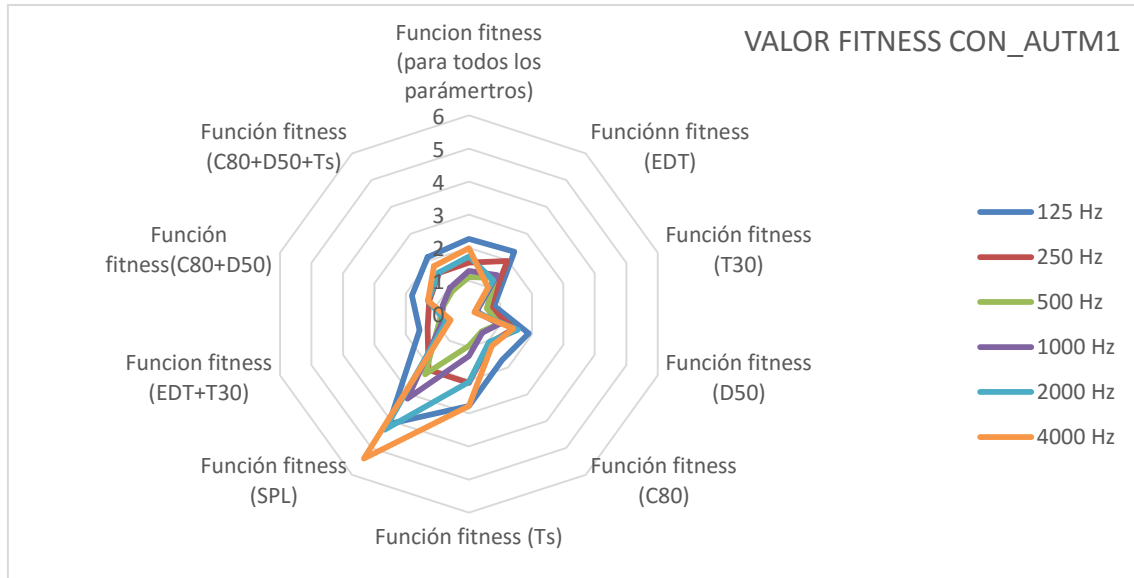
Para este caso sí que se tiene perfectamente ajustada la curva T30 y los demás parámetros también están mejor ajustados.

El problema de esta simulación, viene a la hora de mirar los coeficientes de absorción. Se observa que los materiales han variado a materiales completamente diferentes y con valores irreales como se puede apreciar en la siguiente gráfica 2.25.

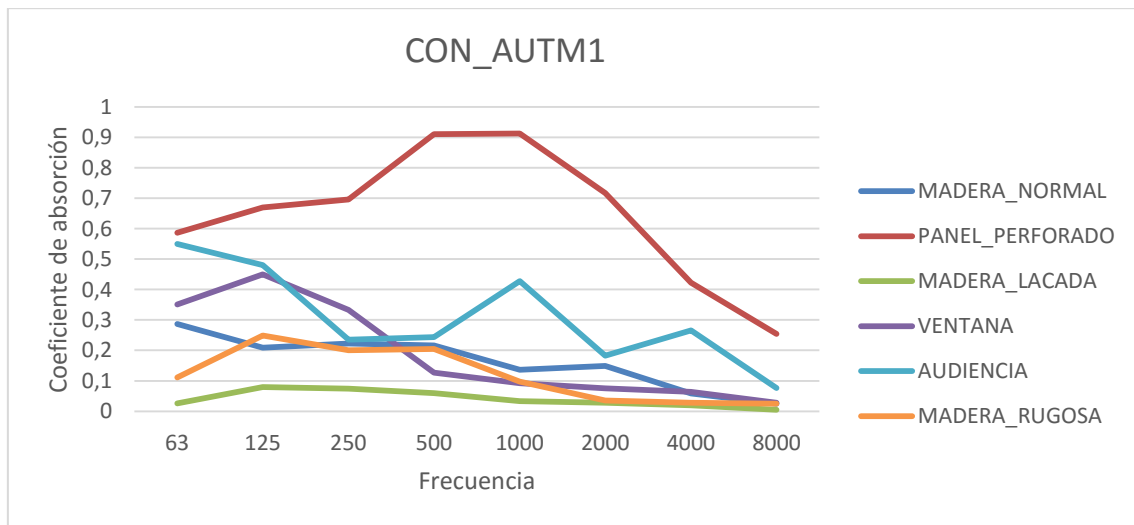
De este resultado se puede concluir que si el ajuste del que se parte está muy desajustado, la variación del 100% no es una buena solución por el hecho de que los materiales que ofrece como solución pueden ser irreales.

También se observa que aun dejándole tomar cualquier valor a los materiales es incapaz de ajustar el parámetro SPL.

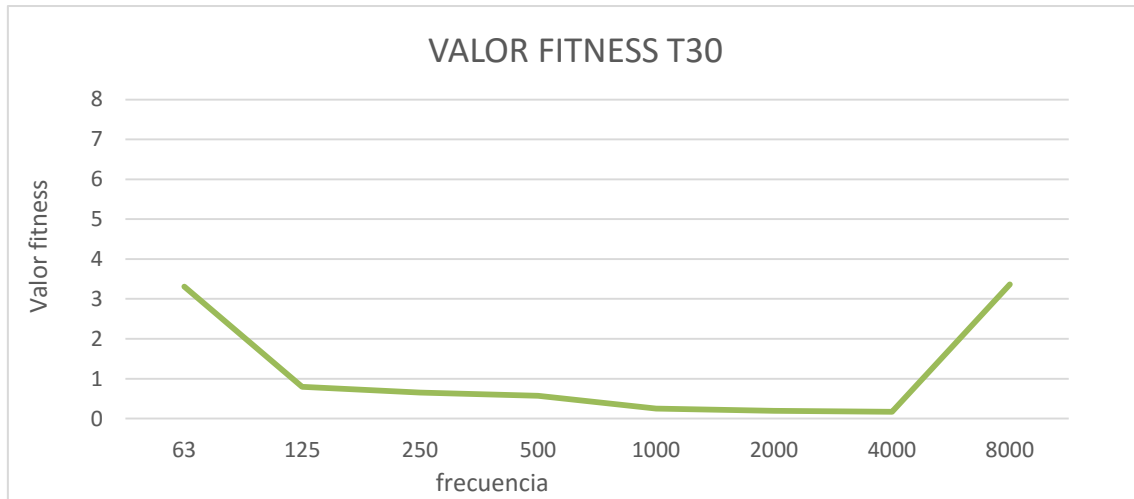
- Partiendo del ajuste manual 1 con el 50% de variación del coeficiente de absorción en todos los materiales.



Gráfica 2.27 Valores fitness para el ajuste CON_AUTM1 con distintos conjunto de parámetros en la función fitness.



Gráfica 2.28. Coeficientes de absorción resultantes del ajuste CON_AUTM1.



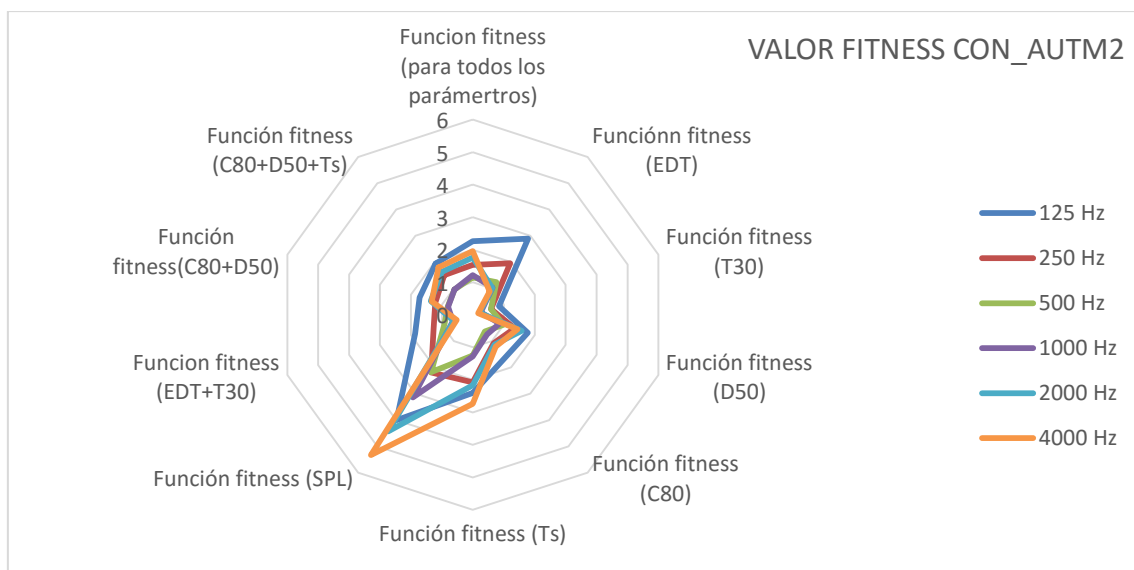
Gráfica 2.29. Valor fitness para el parámetro T30 en el ajuste CON_AUTM1.

Este ajuste automático ha partido del CON_AJM1, es decir parte de una situación previamente ajustada el cual ya cumplía el criterio antes de comenzar.

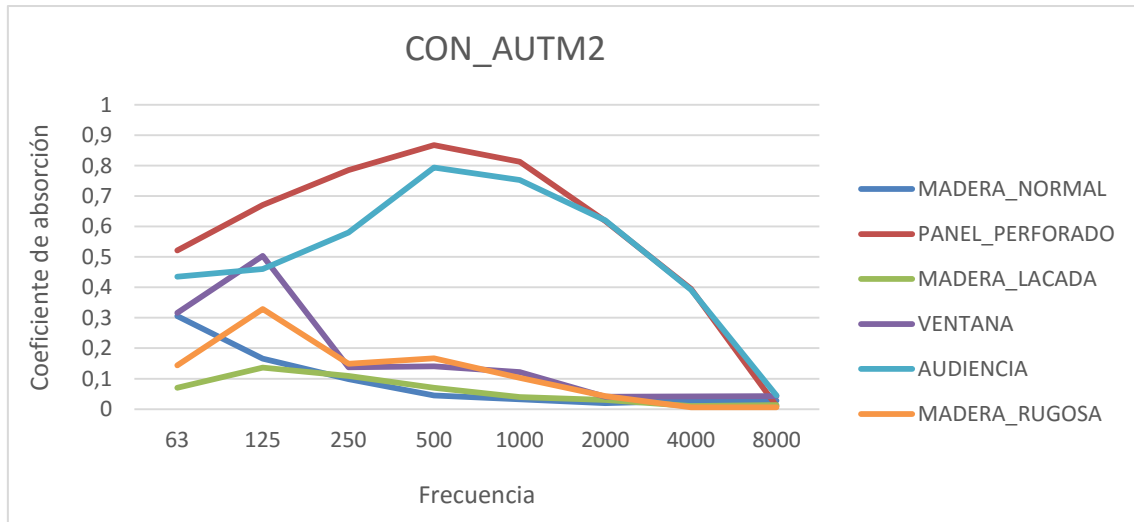
Después de haber dejado a la herramienta simular y con los nuevos materiales se observa que estos han variado pero siguiendo el criterio del primer ajuste, es decir, con la absorción de las butacas baja.

Este ajuste automático como era de esperar sigue cumpliendo el criterio y mejora el ajuste.

- **Partiendo del ajuste manual 2 con el 50% de variación del coeficiente de absorción en todos los materiales y dejando 300 generaciones.**



Gráfica 2.30. Valores fitness para el ajuste CON_AUTM2 con distintos conjunto de parámetros en la función fitness.



Gráfica 2.31. Coeficientes de absorción resultantes del ajuste CON_AUTM2.



Gráfica 2.32. Valor fitness para el parámetro T30 en el ajuste CON_AUTM2.

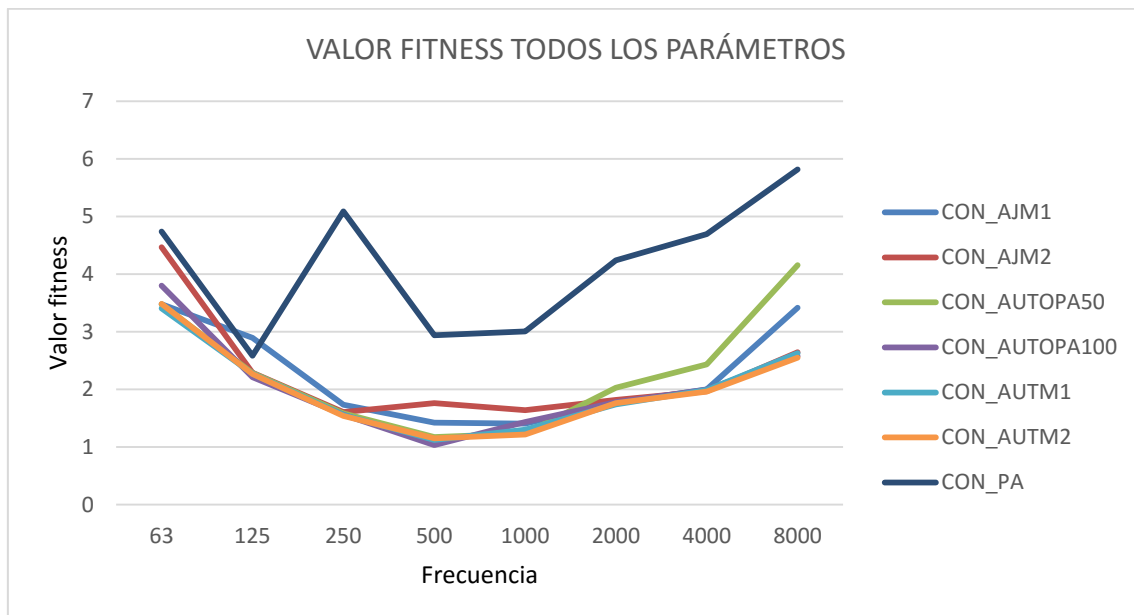
Pasa lo mismo que en el caso anterior. Los materiales han cambiado pero manteniendo el criterio de su ajuste inicial, esto es, manteniendo la absorción de butacas alta y baja la de las maderas.

Los parámetros también están ajustados y mejor que la simulación de la que parten.

2.5.2.2. COMPARACIÓN DE TODOS LOS AJUSTES.

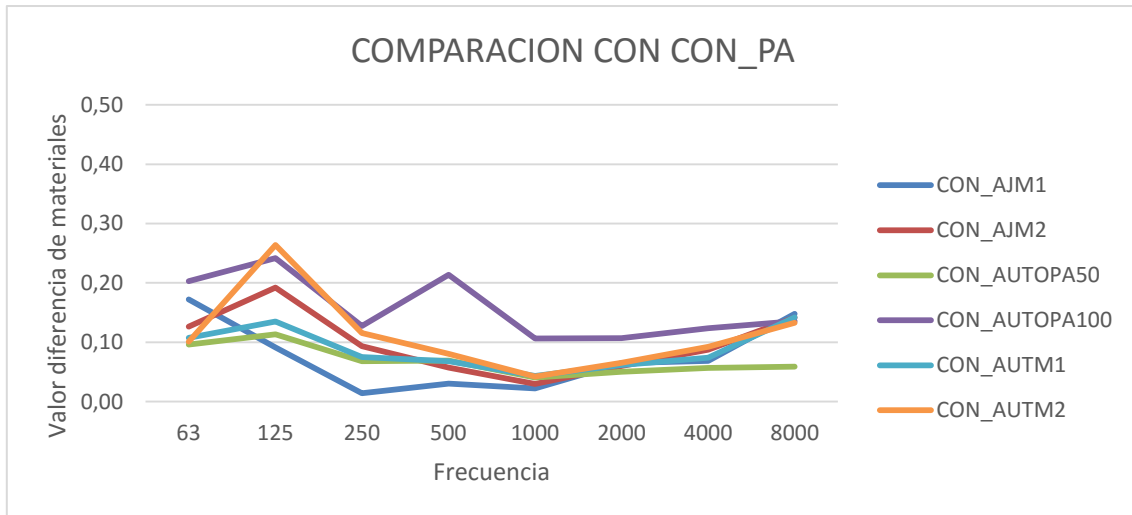
La siguiente gráfica muestra la comparación de todos los ajustes mediante la función fitness para todos los parámetros. Se va a comparar de manera general cuál de los ajustes proporciona mejores resultados.

Si se observa la gráfica de fitness para todos los parámetros (Gráfica.2.33) se observa que los ajustes que han partido de una situación previamente ajustada (CON_AUTM1, CON_AUTM2) proporcionan los mejores resultados. También se observa que el ajuste que parte de la primera aproximación, es decir, de una situación desajustada, pero con una variación del 100% nos proporciona resultados muy parecidos a los anteriores. Sin embargo si se parte de una situación no muy ajustada como es CON_PA y con una variación del 50% el ajuste automático no podrá proporcionar un resultado tan bueno como los anteriores. Finalmente se ve que cualquiera de los ajustes que se ha realizado tiende a la misma forma límite.



Gráfica 2.33. Valor fitness con todos los parámetros para los distintos ajustes.

En la siguiente gráfica se muestra el valor diferencia de materiales para cada uno de los ajustes en comparación con la primera aproximación. Como vemos los materiales varían entre cada uno de los ajustes debido a que parten de ajustes distintos. También se observa que el ajuste que más varía con respecto a la primera aproximación es el CON_AUTOPA100, como ya hemos dicho antes.



Gráfica 2.34. Valor diferencia de materiales para cada uno de los ajustes en comparación con la primera aproximación.

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que los ajustes automáticos deben partir de una situación medianamente ajustada para poder llegar a cumplir el criterio con una variación del 50% de los materiales. Si el porcentaje de variación es del 100% los materiales que nos proporciona la solución son irrealizables. Se podría seguir investigando en este aspecto modificando el porcentaje de variación y obtener una situación intermedia.

Otra aspecto que se observa, es que para distinto conjunto de materiales, se obtienen soluciones igualmente válidas y que nos dan los valores fitness prácticamente iguales. Esto puede ser debido a que la sala cumple las condiciones de campo difuso por su tamaño y que la posición de los materiales en la sala no serían importantes, sino su absorción global.

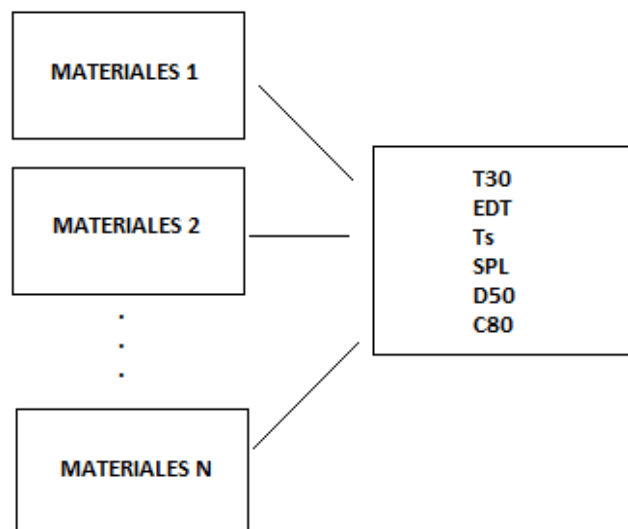


Figura 2.10. Representación Distintos individuos proporcionan igual solución.

También se ve que el ajuste de la sala parece que llega a un valor fitness límite, el cual no ha sido capaz de superarse en ninguno de los ajustes realizados de la sala. Este ajuste límite que se observa es debido a que la variabilidad de las medidas tomadas no pueden ser simuladas por el programa.

En la siguiente Figura 2.11 se observa lo dicho. Se ve que las medidas tomadas varían mucho (Lo que puede ser debido a la incertidumbre de las medidas). La simulación sigue una forma uniforme y en ninguno de los casos es capaz de seguir la variabilidad de las medidas. La incapacidad del programa de ajustarse perfectamente a los valores medidos es lo que hace que los ajustes lleguen a un límite que no se puede mejorar.

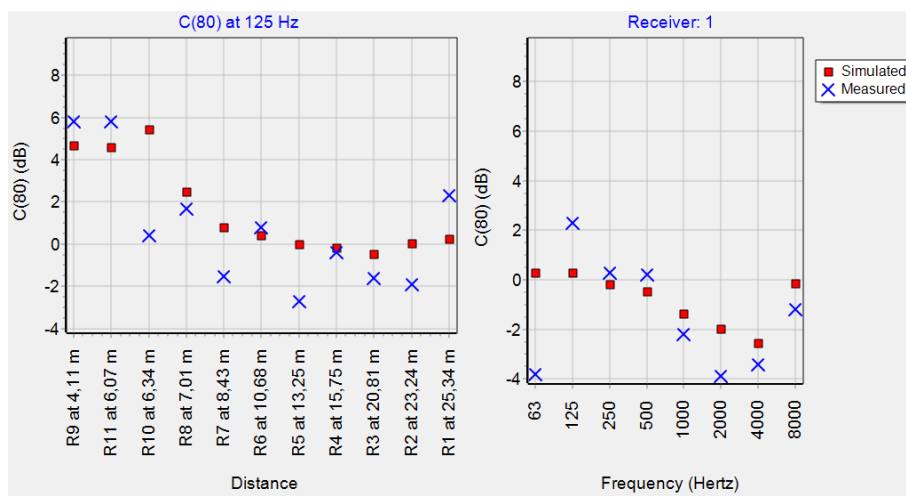


Figura 2.11. Muestra la variabilidad de las medidas y la homogeneidad de la simulación.

2.6. CONCLUSIONES.

Las conclusiones extraídas de este capítulo son las siguientes:

- Dos ajustes manuales distintos, con individuos distintos como solución, nos pueden dar resultados parecidos.
- Para realizar una comparación de dos ajustes distintos, se podrá realizar mediante la función fitness de manera más exacta que mirando las gráficas promedio.
- Cuantos más parámetros se introduzcan en la función fitness, más parámetros intentará ajustar la herramienta. Si uno de los parámetros es muy cambiante por algún motivo y se intuye que Odeon no será capaz de simularlo, es conveniente eliminarlo del ajuste para que permita ajustar todos los demás sin consumir demasiados recursos.
- Con el número de receptores establecido por la ISO 3382 elegidos de forma estratégica valdrá para realizar un buen ajuste de la sala.
- 5 generaciones podrían valer para ajustar la sala. Con 30 se puede asegurar que ya no habrá mejoras. Se pueden dejar más generaciones aunque sabiendo que el tiempo y el coste de computación son mayores sin mejoras apreciables.
- Las diferencias en la variación del método de cruce son apenas imperceptibles.
- En cuanto al método de evolución, para un número suficiente de generaciones todos los métodos convergen a la misma solución en cuanto a fitness. Los materiales tampoco se diferenciarán demasiado. Sin embargo para un número menor de generaciones es preferible elegir un método de evolución que limite a los mejores individuos, y no haga esta selección de manera aleatoria.
- En cuanto al número de individuos por generación, es preferible tener menos individuos y más generaciones en los casos en los que la selección no se haga de forma aleatoria, aunque las diferencias que se han apreciado no son significativas.
- El ajuste automático para todos los casos mejora el resultado del que parte.
- El ajuste automático partiendo de una situación muy desajustada, como puede ser la primera aproximación y solo con el 50% de variación del coeficiente de absorción puede ser que no converja a una buena solución.
- Si el ajuste automático parte de una situación ajustada previamente de forma manual siempre la mejorará y proporcionará muy buenos resultados.
- El ajuste automático con el 100% de variación del coeficiente de absorción proporciona muy buenos resultados en cuanto a fitness, pero lo hace a costa de elegir materiales irreales. No podría considerarse una buena solución.

- Se ha observado también que se tienen soluciones muy iguales en cuanto a valor fitness pero sin embargo utilizando soluciones diferentes en cuanto a materiales, lo que hace sospechar que la sala puede ser que esté cumpliendo las condiciones de campo difuso.
- Se observa que todos los ajustes automáticos convergen a una solución límite que parece que no se puede mejorar para los análisis que se han realizado. Esto es debido a la incertidumbre de las medidas y la incapacidad de la herramienta de ajustar a una curva tan variante.



CAPÍTULO 3 Ajuste automático en varias salas.

3.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se va a realizar el ajuste de un conjunto de salas (Teatros y auditorios) con la herramienta automática, los cuales ya estaban previamente bien ajustados de forma manual. Lo que se va tratar de hacer es utilizar las conclusiones extraídas del capítulo anterior para realizar el ajuste automático de la manera más eficaz posible con estos auditorios, y posteriormente comparar los valores obtenidos con la herramienta automática y los valores obtenidos del ajuste manual.

3.2. PLANIFICACIÓN.

Para cada una de las salas tenemos dos ajustes distintos, uno realizado a ojo mirando fotos de los auditorios y haciendo una primera aproximación de este modo y la otra, un ajuste manual tratando de ajustar el parámetro T30 como se hizo en el capítulo anterior.

En este caso para cada uno de las salas se disponen de medidas para dos posiciones de fuentes distintas. Por lo que los pasos a seguir serán los siguientes:

1. Extraer los valores de los parámetros para cada una de las posiciones de fuente para cada uno de los dos ajustes no automáticos de cada sala y también los coeficientes de absorción de cada uno de esos ajustes.
2. Realizar a cada uno de los dos ajustes no automáticos previos el ajuste automático y extraer los parámetros para cada una de las dos fuentes después de haber realizado el ajuste automático. (El ajuste automático se realizará con los valores de los parámetros que se han extraído en conclusión en el capítulo anterior). Y también los coeficientes de absorción resultantes de cada uno de los dos ajustes automáticos realizados en cada sala.
3. Computar los valores fitness para cada una de las salas para distintos conjuntos de parámetros y realizar tablas comparativas.
4. Realizar la comparación de materiales y extraer conclusiones
5. Conclusiones finales sobre la herramienta basada en algoritmos genéticos.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS AUDITORIOS A AJUSTAR.

3.3.1. AUDITORIO BALUARTE.

Es un edificio situado en la ciudad de Pamplona. El edificio construido en forma de L está situado en el centro de la ciudad y tiene una superficie de 63.000 m² repartidos en una gran sala auditorio, una sala de cámara con 500 butacas, salas específicas para congresos y reuniones y más de 4.000 m² destinados a exposiciones.

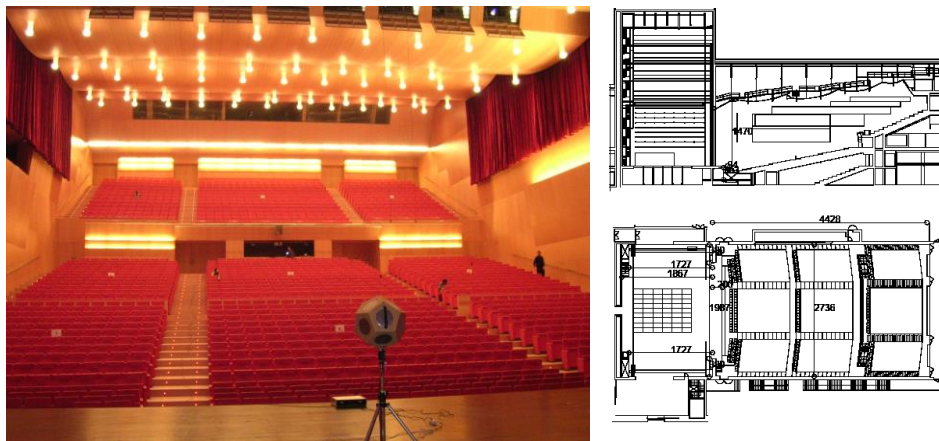


Figura 3.1 (Fotografía del Auditorio Baluarte (izda.), planos de planta y alzado (dcha.))

El Auditorio Baluarte (Figura 3.1), tiene un volumen de 20.000 m³ y un aforo total de cerca de 1600 localidades distribuidas en dos zonas principales, la platea que consta de 1036 asientos y el palco de 532 asientos. El resto de butacas forman el palco de invitados. De forma rectangular, todos los revestimientos son de madera de haya contrachapada, con butacas diseñadas con la intención de que su absorbancia sea parecida indistintamente de que haya público o no. El escenario ocupa una superficie de 230 m². Las medidas se realizaron con concha acústica, con paredes lisas en forma de trapecio y techo inclinado, todo revestido con paneles de madera (Figura 3.2).

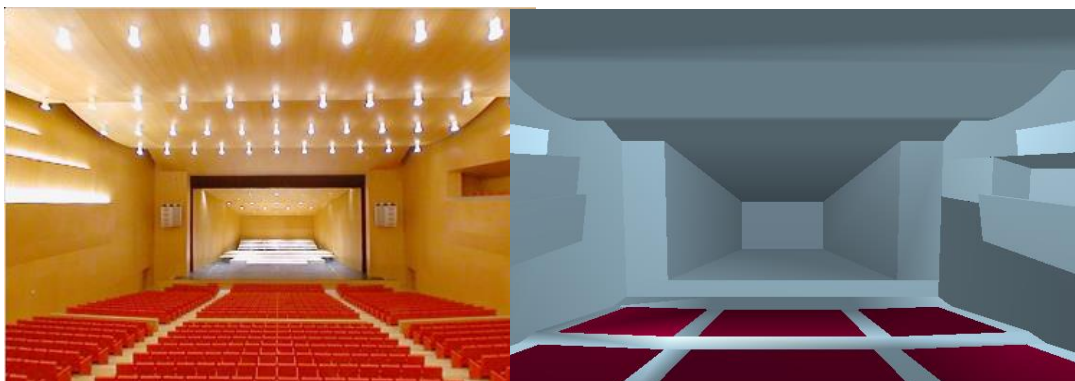


Figura 3.2 (Fotografía del Auditorio Baluarte (izda.), modelo simulado (dcha.).)

La sala está destinada a la realización de espectáculos culturales de música sinfónica, danza, teatro y ópera. Su uso principal es la celebración de conciertos de música sinfónica. La Tabla 3.1 resume sus principales características acústicas.

Auditorio Baluarte, Palacio de Congresos - Pamplona				
Ficha Técnica Resumen		9 receptores		
Parámetro	Figura de mérito	Media	Rango	
Tiempo de reverberación (s)	$T_{30mid} = \frac{1}{2} (T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz})$	1.93	1.89	2.04
Early Decay Time (s)	$EDT_{mid} = \frac{1}{2} (EDT^{500Hz} + EDT^{1kHz})$	1.79	1.65	1.90
Calidez	$BR = \frac{T_{30}^{125Hz} + T_{30}^{250Hz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	0.94	0.85	1.01
Brillo	$Br = \frac{T_{30}^{2kHz} + T_{30}^{4kHz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	1.11	1.06	1.13
Tiempo central (ms)	$T_S = T_S^{1kHz}$	151	127	176
Claridad musical (dB)	$C_{80}(3) = \frac{1}{3} (C_{80}^{500Hz} + C_{80}^{1kHz} + C_{80}^{2kHz})$	-1.9	-2.9	-0.2
Claridad voz (dB)	$C_{50, speech} = 0.15C_{50}^{500Hz} + 0.25C_{50}^{1kHz} + 0.35C_{50}^{2kHz} + 0.25C_{50}^{4kHz}$	-3.9	-5.3	-1.7
Fuerza acústica (dB)	$G_{mid} = \frac{1}{2} (G^{500Hz} + G^{1kHz})$	3.2	0.5	4.7
Eficiencia lateral	$LF_{E4} = \frac{1}{4} (LF^{125Hz} + LF^{250Hz} + LF^{500Hz} + LF^{1kHz})$	0.15	0.09	0.22
Correlación Cruzada InterAural	$1 - IACC_{E3} = 1 - \frac{1}{3} (IACC_E^{500Hz} + IACC_E^{1kHz} + IACC_E^{2kHz})$	0.57	0.38	0.74
Soporte de escenario (dB)	$STI_{mid} = \frac{1}{4} (STI^{250Hz} + STI^{500Hz} + STI^{1kHz} + STI^{2kHz})$	-13.4	-14.1	-12.6

Tabla 3.1 (Auditorio Baluarte, Palacio de Congresos, Pamplona – Ficha técnica).

Esta sala está medida con un total de 9 receptores y 2 fuentes. En total se disponen de 18 medidas para poder realizar los distintos ajustes. La disposición de los micrófonos será la mostrada en la Figura 3.3. Las diferentes capas de las que se ha constituido el modelo con la superficie que ocupan se muestra en la Tabla 3.2.

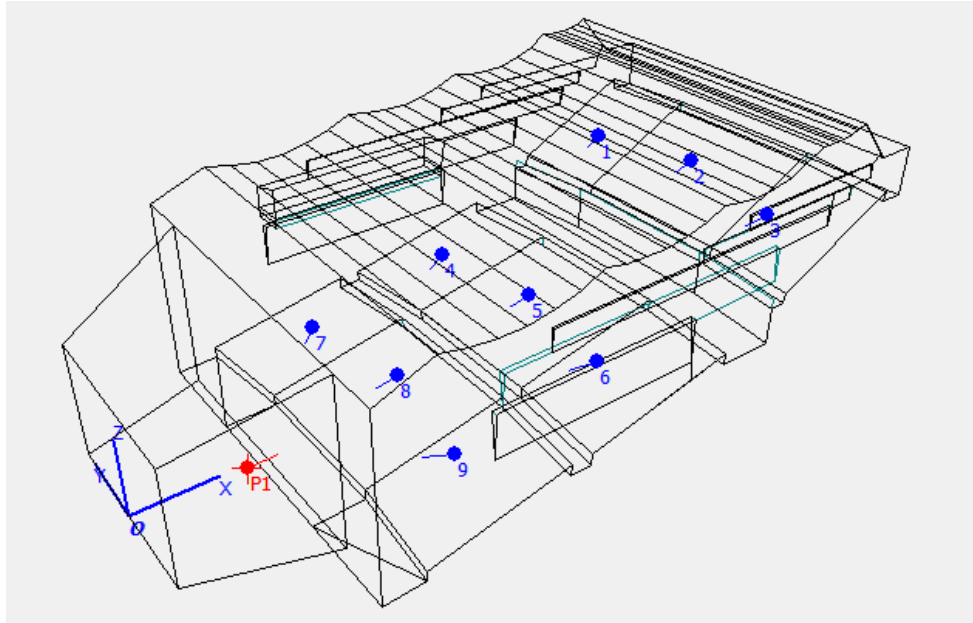


Figura 3.3 (Disposición de los receptores en la sala Baluarte).

CAPA	SUPERFICIE m ²
Suelo escenario	477,3
Madera 1 capa	1971,8
Butacas altamente tapizadas	1095,0
Panel de madera	1284,4
SUPERFICIE TOTAL	4828,5

Tabla 3.2 (Tabla de las diferentes capas de la sala Baluarte en el modelo virtual y su superficie).

3.3.2. TEATRO BRETÓN DE LOS HERREROS.

Conocido popularmente como Teatro Bretón, es un espacio de exhibición teatral de titularidad municipal dependiente del Ayuntamiento de Logroño.

El Teatro Bretón de los Herreros, de forma rectangular, tiene un volumen de 10.000 m³ y un aforo total de 988 localidades distribuidas en tres zonas, la platea que consta de 542 asientos y dos anfiteatros con forma de herradura con 238 y 208 asientos cada uno. Las paredes son de ladrillo enlucido pintado y las columnas que dan forma a los palcos, de hormigón pintado. En la pared posterior, tanto en la planta baja como en los anfiteatros, sobre el eje longitudinal de la sala, se encuentran las puertas de acceso al teatro cubiertas por una cortina de terciopelo. Los anfiteatros (Figura 3.4), en forma de herradura, están bordeados por una barandilla de hierro forjado. Todo el suelo está enmoquetado y sus butacas tapizadas. El escenario, de madera,

ocupa una superficie de 170 m². Las medidas se realizaron con concha acústica, una estructura desmontable a base de superficies reflectantes y rígidas. Las paredes y techo de la misma, con forma de abanico, están revestidas con paneles de madera.

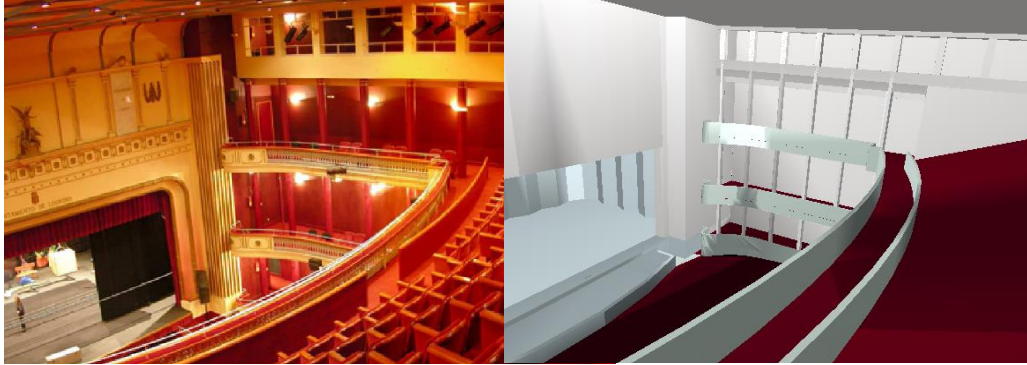


Figura 3.4 (Fotografía del Teatro Bretón (izda), modelo simulado (dcha)).

El uso principal de este local es la celebración de obras teatrales. La Tabla 3.3 resume sus principales características

Teatro Bretón de los Herreros - Logroño				
Ficha Técnica Resumen		14 receptores		
Parámetro	Figura de mérito	Media	Rango	
Tiempo de reverberación (s)	$T_{30mid} = \frac{1}{2} (T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz})$	1.30	1.26	1.38
Early Decay Time (s)	$EDT_{mid} = \frac{1}{2} (EDT^{500Hz} + EDT^{1kHz})$	1.37	1.22	1.50
Calidez	$BR = \frac{T_{30}^{125Hz} + T_{30}^{250Hz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	1.08	1.02	1.12
Brillo	$Br = \frac{T_{30}^{2kHz} + T_{30}^{4kHz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	0.85	0.79	0.83
Tiempo central (ms)	$T_s = T_s^{1kHz}$	90	84	98
Claridad musical (dB)	$C_{80}(3) = \frac{1}{3} (C_{80}^{500Hz} + C_{80}^{1kHz} + C_{80}^{2kHz})$	1.8	0.7	2.9
Claridad voz (dB)	$C_{50, speech} = 0.15C_{50}^{500Hz} + 0.25C_{50}^{1kHz} + 0.35C_{50}^{2kHz} + 0.25C_{50}^{4kHz}$	-0.8	-2.3	1.2

Fuerza acústica (dB)	$G_{mid} = \frac{1}{2} (G^{500Hz} + G^{1kHz})$	5.2	2.7	9.6
Eficiencia lateral	$LF_{E4} = \frac{1}{4} (LF^{125Hz} + LF^{250Hz} + LF^{500Hz} + LF^{1kHz})$	0.18	0.14	0.23
Correlación Cruzada InterAural	$1 - IACC_{E3} = 1 - \frac{1}{3} (IACC_E^{500Hz} + IACC_E^{1kHz} + IACC_E^{2kHz})$	0.65	0.53	0.83
Soporte de escenario (dB)	$ST1_{mid} = \frac{1}{4} (ST1^{250Hz} + ST1^{500Hz} + ST1^{1kHz} + ST1^{2kHz})$	-13.3	-14.3	-12.3

Tabla 3.3 (Teatro Bretón de los Herreros, Logroño – Ficha técnica).

Esta sala está medida con un total de 14 receptores y 2 fuentes. En total se disponen de 28 medidas para poder realizar los distintos ajustes. La disposición de los micrófonos será la que se muestra en la Figura 3.5. Las diferentes capas de las que se ha constituido el modelo con la superficie que ocupan se muestra en la Tabla 3.4.

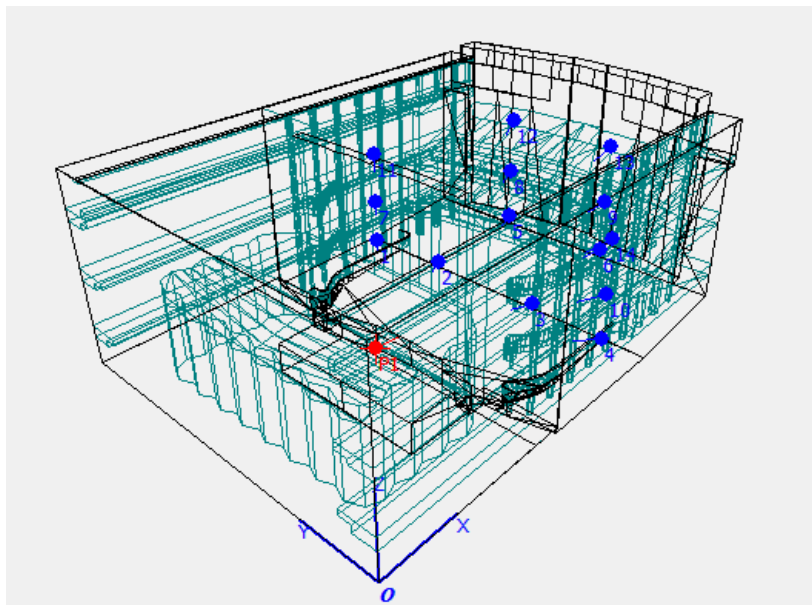


Figura 3.5 (Disposición de los receptores en la sala Bretón).

CAPA	SUPERFICIE m ²
Painted plaster surface	187,3
Wooden floor on joists	638,4
Solid wooden door	284,8
Smooth concrete, painte	3851,7
Empty chairs, upholste	1189,8
Curtains, cotton cloth	237,2
SUPERFICIE TOTAL	6389,2

Tabla 3.4 (Tabla de las diferentes capas de la sala Bretón en el modelo virtual y su superficie).

3.3.3. TEATRO GAYARRE.

Está situado en la ciudad de Pamplona (Avenida Carlos III). El interior del edificio consta de cuatro plantas. En la primera se encuentra el hall de entrada a la sala y la sala propiamente dicha (Figura 3.6), con un patio de butacas de 536 plazas de aforo. En esta misma planta se encuentra, además del escenario, de cerca de 100 m², el foso para orquestas y la zona de camerinos.

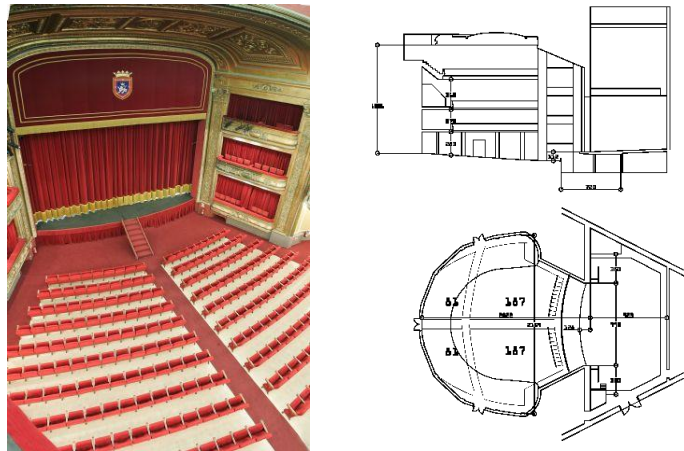


Figura 3.6 (Fotografía del Teatro Gayarre (izda), planos (dcha).)

La segunda planta del edificio, con una capacidad de 93 localidades, acoge las plateas centrales de la sala. La tercera planta, el palco, consta de 268 localidades. El teatro aún tiene una cuarta planta, el anfiteatro. El teatro casi llega a alcanzar el millar de localidades.

Además de representaciones teatrales y operísticas, la programación anual del Teatro Gayarre cuenta con espectáculos de danza y conciertos de música clásica. La Tabla 3.4 resume sus principales características acústicas.

Teatro Gayarre - Pamplona

Ficha Técnica Resumen		12 receptores		
Parámetro	Figura de mérito	Media	Rango	
Tiempo de reverberación (s)	$T_{30mid} = \frac{1}{2} (T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz})$	1.05	1.01	1.09
Early Decay Time (s)	$EDT_{mid} = \frac{1}{2} (EDT^{500Hz} + EDT^{1kHz})$	0.99	0.70	1.30
Calidez	$BR = \frac{T_{30}^{125Hz} + T_{30}^{250Hz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	1.32	1.24	1.38
Brillo	$Br = \frac{T_{30}^{2kHz} + T_{30}^{4kHz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	0.91	0.88	0.95
Tiempo central (ms)	$T_s = T_s^{1kHz}$	64	50	79
Claridad musical (dB)	$C_{80}(3) = \frac{1}{3} (C_{80}^{500Hz} + C_{80}^{1kHz} + C_{80}^{2kHz})$	4.4	2.9	5.6
Claridad voz (dB)	$C_{50, speech} = 0.15C_{50}^{500Hz} + 0.25C_{50}^{1kHz} + 0.35C_{50}^{2kHz} + 0.25C_{50}^{4kHz}$	1.5	-0.1	3.3
Fuerza acústica (dB)	$G_{mid} = \frac{1}{2} (G^{500Hz} + G^{1kHz})$	5.1	3.6	6.9
Eficiencia lateral	$LF_{E4} = \frac{1}{4} (LF^{125Hz} + LF^{250Hz} + LF^{500Hz} + LF^{1kHz})$	0.16	0.10	0.22
Correlación Cruzada InterAural	$1 - IACC_{E3} = 1 - \frac{1}{3} (IACC_E^{500Hz} + IACC_E^{1kHz} + IACC_E^{2kHz})$	0.63	0.55	0.71
Soporte de escenario (dB)	$ST1_{mid} = \frac{1}{4} (ST1^{250Hz} + ST1^{500Hz} + ST1^{1kHz} + ST1^{2kHz})$	-10.9	-12.7	-9.1

Tabla 3.5 (Teatro Gayarre, Pamplona – Ficha técnica.)

Esta sala está medida con un total de 12 receptores y 2 fuentes. En total se disponen de 24 medidas para poder realizar los distintos ajustes. La disposición de los micrófonos será la que se muestra en la Figura 3.7. Las diferentes capas de las que se ha constituido el modelo con la superficie que ocupan se muestra en la Tabla 3.5.

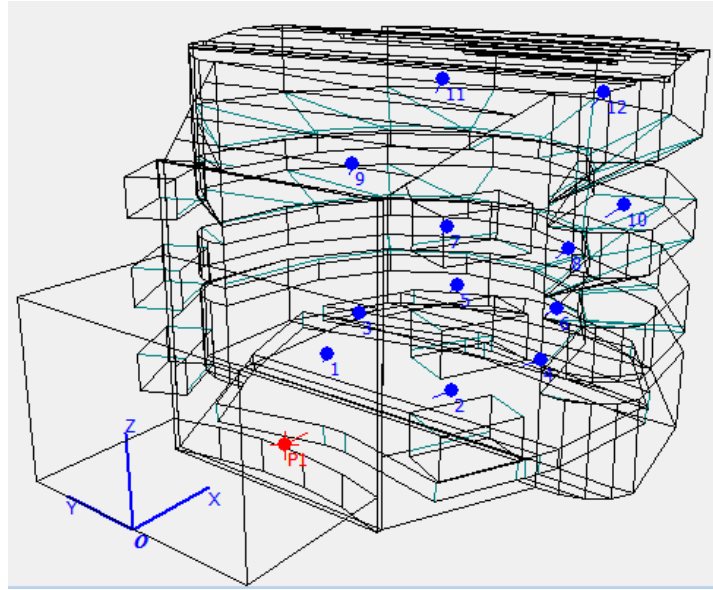


Figura 3.7 (Disposición de los receptores en la sala Gayarre).

CAPA	SUPERFICIE
Moqueta delgada sobre	343,1
Suelo escenario	66,8
Cortina ligera 5cm par	210,4
Butaca altamente tapizada	730,0
Yeso (Pared dura)	1322,2
SUPERFICIE TOTAL	2672,5

Tabla 3.6 (Tabla de las diferentes capas de la sala Gayarre en el modelo virtual y su superficie).

3.3.4. AUDITORIO KURSAAL.

El Palacio de Congresos y Auditorio Kursaal es un complejo arquitectónico constituido por un gran auditorio, una sala de cámara, salas polivalentes y salas de exposiciones proyectado por el arquitecto Rafael Moneo y situado en San Sebastián. Se inauguró en 1999 y acoge desde entonces, entre otros eventos, el Festival de Cine de San Sebastián. Está constituido, principalmente, de dos grandes volúmenes prismáticos que emergen de una plataforma. Cada "cubo", como popularmente se les llama, está formado por un prisma interior de obra de fábrica que configura interiormente una sala. Éstas, a su vez, quedan encerradas por una doble pared formada por paneles translúcidos de vidrio prensado sujetos a una estructura metálica que abarca también vestíbulos y pasillos. Entre los dos cubos se forma una gran superficie transitable con vistas al mar. En esta terraza se organizan distintos

conciertos del Festival de Jazz de San Sebastián y otras actividades durante las fiestas de la Semana Grande donostiarra.

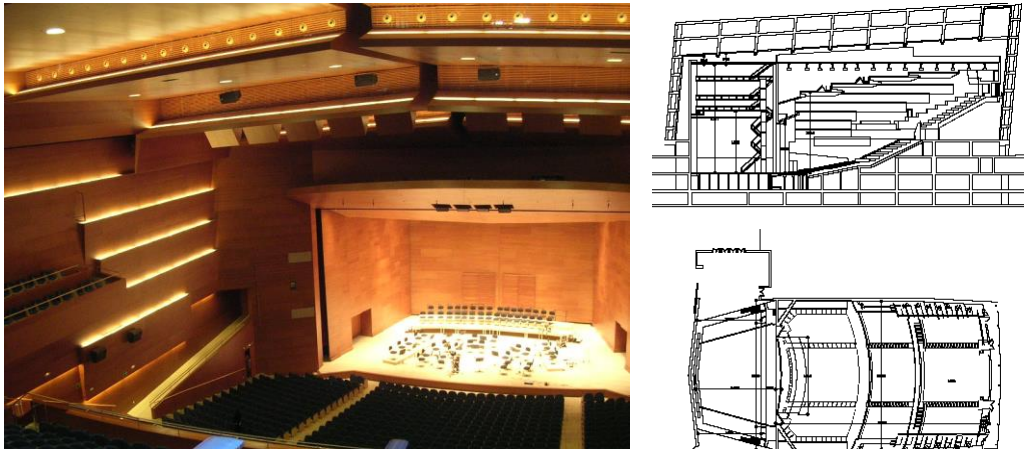


Figura 3.8 (Fotografía de la sala Kursaal (izda), planos (dcha).)

Pese a que el encargo inicial fue diseñar un auditorio, es decir, un recinto cuya función exclusiva fuera la de acoger conciertos sinfónicos o espectáculos similares, tras ganar el concurso se decidió transformarlo en un “teatro con posibilidad de ofrecer ópera”. Obviamente este concepto de sala es muy diferente al inicialmente previsto, pues en él, el foso orquestal, la tramoya, hombros y chácena tienen un papel fundamental. Estos requerimientos sufrieron en el proyecto definitivo las limitaciones propias de una reestructuración de la idea inicial, de forma que las posibilidades que posee la sala principal del Kursaal (Figura 3.8) para ofrecer grandes montajes de ópera son muy limitadas, aunque puede acoger representaciones de complejidad media. El foso se forma mediante descenso de la parte delantera del suelo del patio de butacas. Además, un sistema de telones laterales permite modificar las características acústicas de la sala. Revestida de madera, tiene un volumen de unos 18,000 m³. Con capacidad para 1806 espectadores, presenta la máxima funcionalidad de cara a la realización de representaciones artísticas, teatrales y de ópera, así como de congresos, convenciones y reuniones de gran formato, acogiendo más de 150 eventos anuales. La Tabla 3.6 resume sus principales características acústicas.

Auditorio, Centro Kursaal – San Sebastián

<i>Ficha Técnica Resumen</i>			12 receptores	
Parámetro	Figura de mérito	Media	Rango	
Tiempo de reverberación (s)	$T_{30mid} = \frac{1}{2} (T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz})$	1.95	1.89	2.00

Early Decay Time (s)	$EDT_{mid} = \frac{1}{2} (EDT^{500Hz} + EDT^{1kHz})$	1.75	1.50	2.08
Calidez	$BR = \frac{T_{30}^{125Hz} + T_{30}^{250Hz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	1.04	0.97	1.10
Brillo	$Br = \frac{T_{30}^{2kHz} + T_{30}^{4kHz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	1.01	0.99	1.04
Tiempo central (ms)	$T_s = T_s^{1kHz}$	120	89	144
Claridad musical (dB)	$C_{80}(3) = \frac{1}{3} (C_{80}^{500Hz} + C_{80}^{1kHz} + C_{80}^{2kHz})$	-0.1	-1.9	2.3
Claridad voz (dB)	$C_{50, speech} = 0.15C_{50}^{500Hz} + 0.25C_{50}^{1kHz} + 0.35C_{50}^{2kHz} + 0.25C_{50}^{4kHz}$	-2.9	-5.6	-0.2
Fuerza acústica (dB)	$G_{mid} = \frac{1}{2} (G^{500Hz} + G^{1kHz})$	3.0	1.6	5.4
Eficiencia lateral	$LF_{E4} = \frac{1}{4} (LF^{125Hz} + LF^{250Hz} + LF^{500Hz} + LF^{1kHz})$	0.18	0.10	0.28
Correlación Cruzada InterAural	$1 - IACC_{E3} = 1 - \frac{1}{3} (IACC_E^{500Hz} + IACC_E^{1kHz} + IACC_E^{2kHz})$	0.55	0.28	0.68
Soporte de escenario (dB)	$ST1_{mid} = \frac{1}{4} (ST1^{250Hz} + ST1^{500Hz} + ST1^{1kHz} + ST1^{2kHz})$	-12.9	-13.1	-12.7

Tabla 3.7 (Centro Kursaal, San Sebastián – Ficha técnica.)

Esta sala está medida con un total de 12 receptores y 2 fuentes. En total se disponen de 24 medidas para poder realizar los distintos ajustes. La disposición de los micrófonos será la que se muestre en la Figura 3.9. Las diferentes capas de las que se ha constituido el modelo, junto con la superficie que ocupan se muestra en la Tabla 3.8.

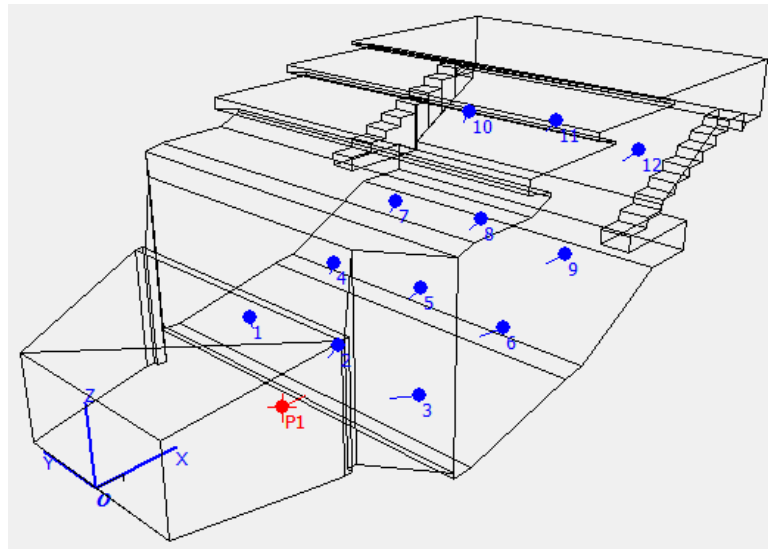


Figura 3.9 (Disposición de los receptores en la sala Kursaal).

CAPA	SUPERFICIE
Suelo escenario	551,8
Panel de madera	3310,9
Butaca altamente tapizada	830,3
SUPERFICIE TOTAL	4693,0

Tabla 3.8 ((Tabla de las diferentes capas de la sala Kursaal en el modelo virtual y su superficie).)

3.3.5. AUDITORIO MOZART.

Con la inauguración del Auditorio – Palacio de Congresos en octubre de 1994, Zaragoza suple una de sus principales carencias a la hora de convertirse en una de las ciudades europeas mejor equipadas. El complejo constituye una instalación con grandes posibilidades de utilización, tales como acontecimientos musicales, congresos, convenciones, grandes reuniones, ferias o actos políticos y sociales de todo tipo.

La Sala Mozart, tiene capacidad para 1.992 espectadores, de los que parte se disponen alrededor de los músicos. Todos los revestimientos están realizados de un solo material, madera de eyong procedente de África y el techo está especialmente diseñado para difundir el sonido a toda la sala (Figura 3.10). Con cerca de 26.000 m³ de volumen, sigue la directriz clara de ser un auditorio puro. A cambio de esa pureza, que impide la representación de otros géneros como ópera, se consiguió crear una acústica considerada como excelente por numerosos intérpretes y directores de orquesta que la han utilizado. La Tabla 3.9 resume sus principales características acústicas.

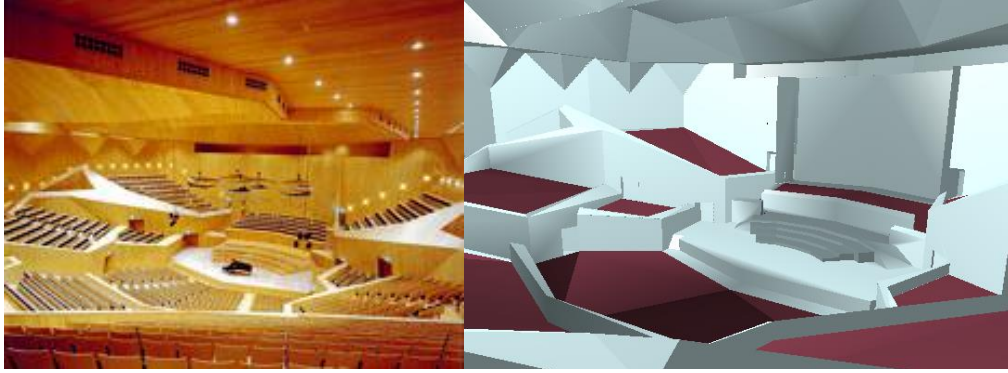


Figura 3.10 (Fotografía del Auditorio Mozart (izda), modelo simulado (dcha)).

Auditorio Mozart, Palacio de Congresos - Zaragoza

Ficha Técnica Resumen		17 receptores		
Parámetro	Figura de mérito	Media	Rango	
Tiempo de reverberación (s)	$T_{30mid} = \frac{1}{2} (T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz})$	2.88	2.78	2.92
Early Decay Time (s)	$EDT_{mid} = \frac{1}{2} (EDT^{500Hz} + EDT^{1kHz})$	2.68	2.36	3.07
Calidez	$BR = \frac{T_{30}^{125Hz} + T_{30}^{250Hz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	0.82	0.77	0.88
Brillo	$Br = \frac{T_{30}^{2kHz} + T_{30}^{4kHz}}{T_{30}^{500Hz} + T_{30}^{1kHz}}$	0.78	0.77	0.80
Tiempo central (ms)	$T_S = T_S^{1kHz}$	170	119	219
Claridad musical (dB)	$C_{80}(3) = \frac{1}{3} (C_{80}^{500Hz} + C_{80}^{1kHz} + C_{80}^{2kHz})$	-0.8	-3.0	1.3
Claridad voz (dB)	$C_{50, speech} = 0.15C_{50}^{500Hz} + 0.25C_{50}^{1kHz} + 0.35C_{50}^{2kHz} + 0.25C_{50}^{4kHz}$	-2.9	-6.0	-0.3
Fuerza acústica (dB)	$G_{mid} = \frac{1}{2} (G^{500Hz} + G^{1kHz})$	4.5	1.3	6.8
Eficiencia lateral	$LF_{E4} = \frac{1}{4} (LF^{125Hz} + LF^{250Hz} + LF^{500Hz} + LF^{1kHz})$	0.18	0.02	0.28

Correlación Cruzada InterAural	$1 - IACC_{E3} = 1 - \frac{1}{3} (IACC_E^{500Hz} + IACC_E^{1kHz} + IACC_E^{2kHz})$	0.61	0.27	0.80
Soporte de escenario (dB)	$ST1_{mid} = \frac{1}{4} (ST1^{250Hz} + ST1^{500Hz} + ST1^{1kHz} + ST1^{2kHz})$	-12.5	-13.4	-11.7

Tabla 3.9 (Auditorio Mozart, Palacio de Congresos, Zaragoza – Ficha técnica).

Esta sala está medida con un total de 17 receptores y 2 fuentes. En total se disponen de 34 medidas para poder realizar los distintos ajustes. La disposición de los micrófonos será la que se muestra en la Figura 3.11. Las diferentes capas de las que se ha constituido el modelo y la superficie que ocupan se muestra en la Tabla 3.10

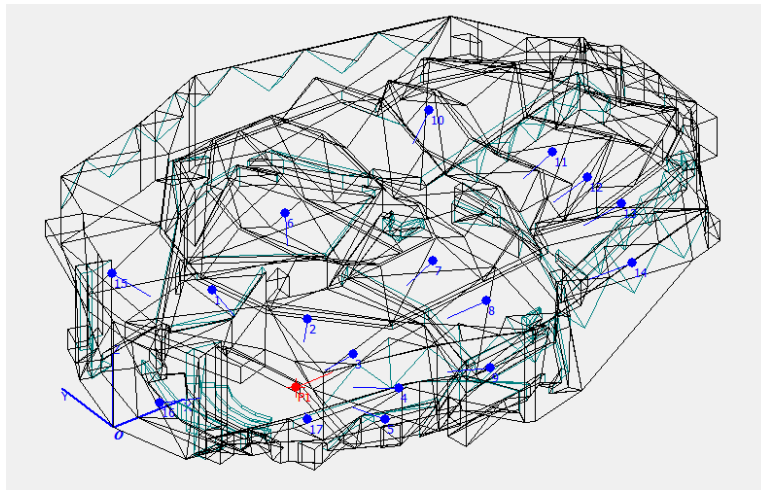


Figura 3.11 (Disposición de los receptores en la sala Mozart).

CAPA	SUPERFICIE
madera2 MOZART	5910,2
Wooden floor on joists	925,3
Chairs, unoccupied ave	1398,6
Wood parquet in asphalt	1,2
SUPERFICIE TOTAL	8235,3

Tabla 3.10. Tabla de las diferentes capas de la sala Mozart en el modelo virtual y su superficie.

3.4. AJUSTES DE LAS SALAS.

En esta sección se van a analizar las diferencias en cuanto a valores fitness y diferencias de materiales de los ajustes manuales y de los ajustes automáticos de cada una de las salas de las que disponemos.

Para los ajustes automáticos de la sala se van a emplear los siguientes valores de los parámetros:

- Método de evolución: Tournament.
- Número de individuos por generación: 4.
- Para el resto de parámetros se pone su valor por defecto.
- Se utilizan los parámetros (EDT, T30, Ts, G, C50, D80) en la función fitness del algoritmo genético.
- Número de receptores: suficientes con los que nos establece la norma.
- Número de generaciones que se dejan simular: alrededor de 30.
- Porcentaje de variación de los coeficientes de absorción será de 50% excepto en los casos que se indique otro.

Para cada una de las salas tendremos un total de 5 ajustes distintos:

- **Ajuste visual:** este ajuste se ha realizado colocando los materiales completamente a ojo, esto es, mirando una foto de la sala y estimando visualmente que coeficientes de absorción pueden que tenga cada material.

- **Ajuste manual:** Este ajuste se ha basado en ir ajustando la curva de T30 promedio de todos los receptores de la sala, es decir que todos sus valores medidos no superen en 1 Jnd a su valor simulado.

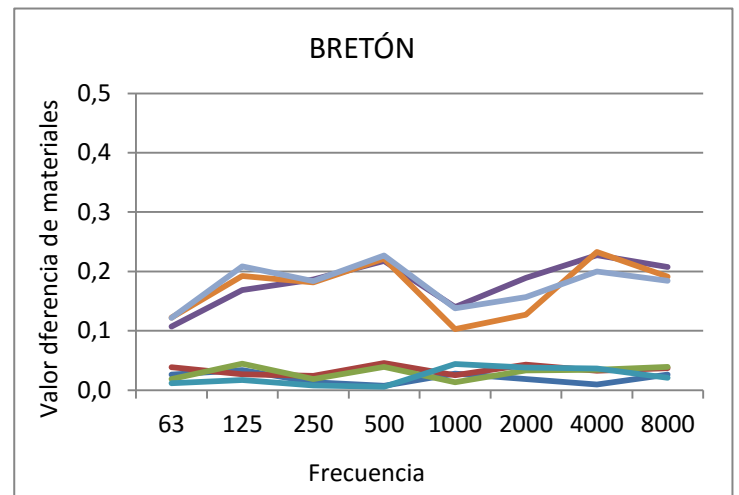
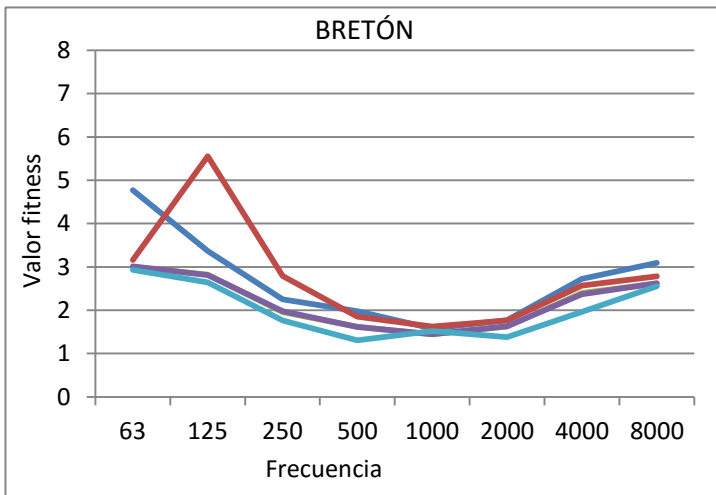
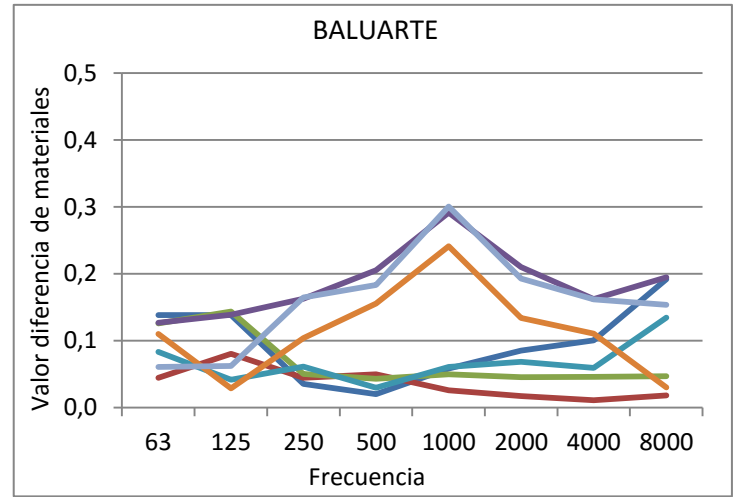
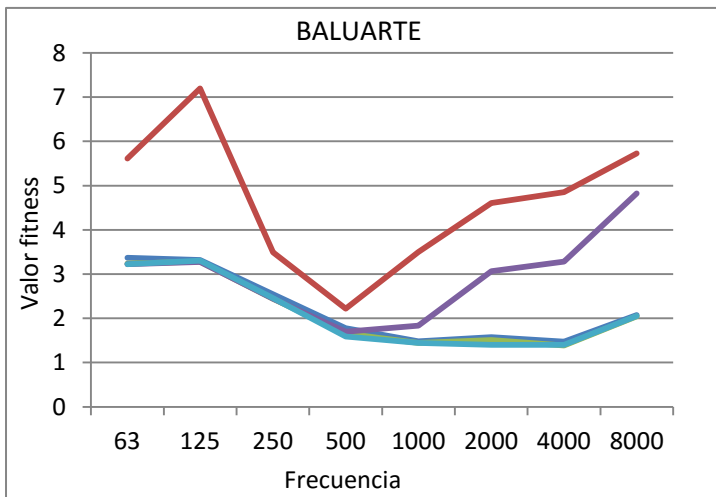
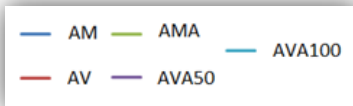
- **Ajuste automático partiendo del visual 50%:** Este ajuste se ha basado en realizar el ajuste automático para los parámetros de la herramienta que se han descrito pero con un 50% de variación del coeficiente de absorción en todos los materiales. Su punto de partida es el ajuste visual de la sala.

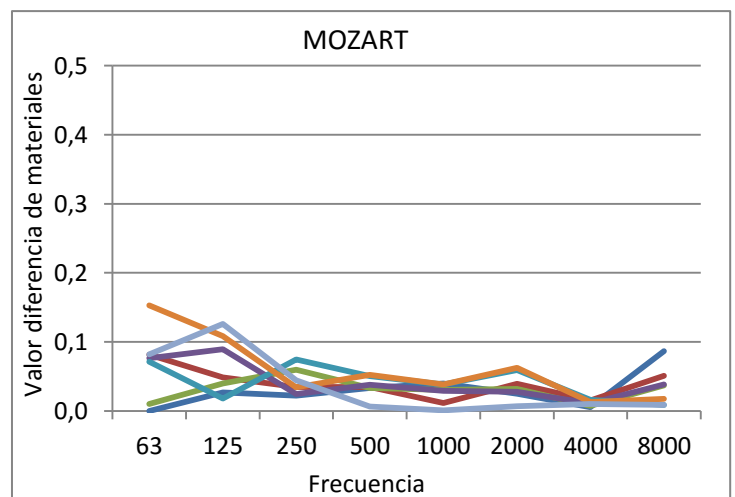
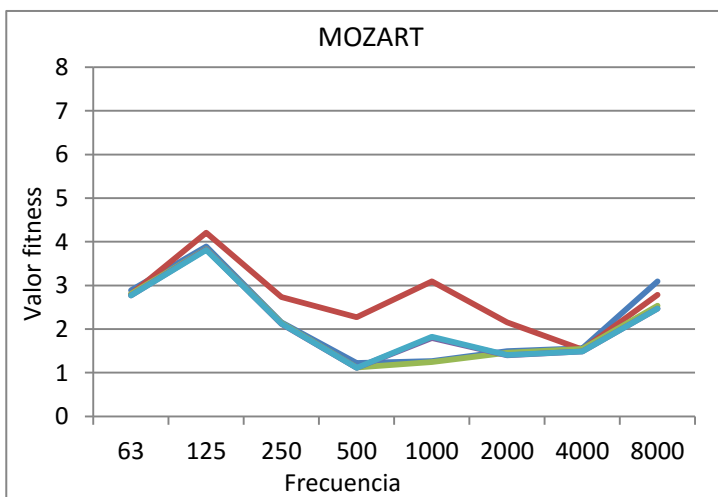
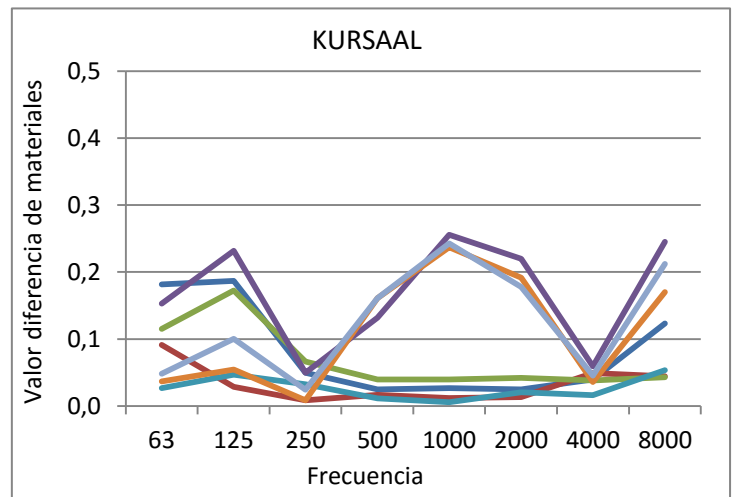
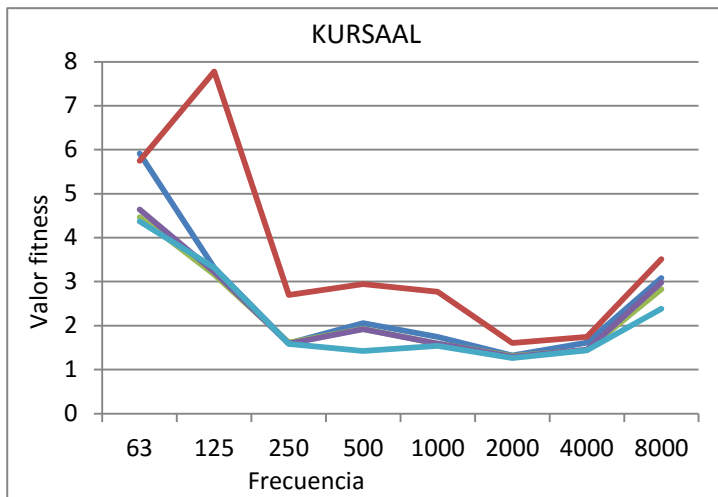
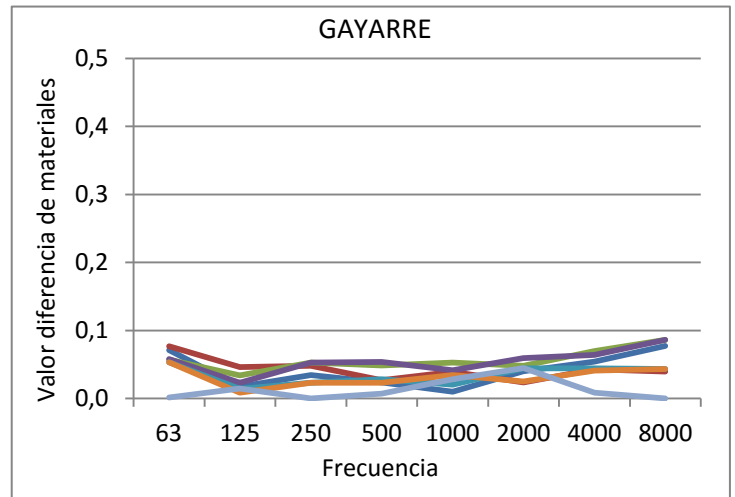
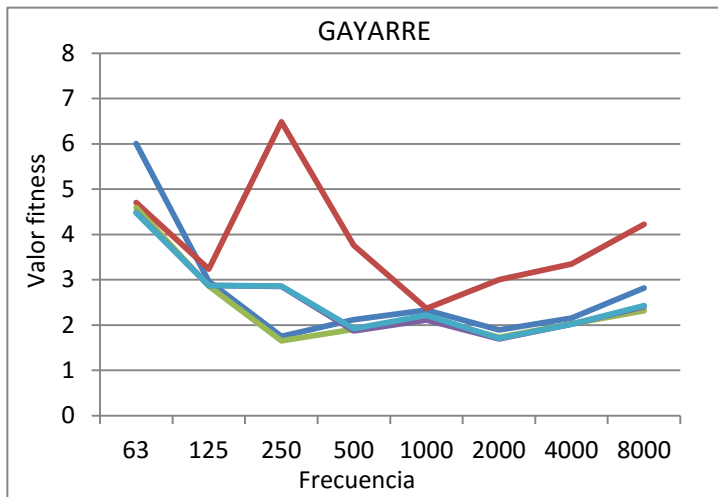
- **Ajuste automático partiendo del visual 100%:** Este ajuste se ha basado en realizar el ajuste automático para los parámetros de la herramienta que se han descrito pero con un 100% de variación del coeficiente de absorción en todos los materiales. Su punto de partida es el ajuste visual de la sala.

- **Ajuste automático partiendo del manual:** Este ajuste se ha realizado con los valores de los parámetros de la herramienta que se han descrito antes. Su punto de partida es el ajuste manual de la sala.

3.5. COMPARACION DE TODOS LOS DISTINTOS AJUSTES MEDIANTE LA FUNCIÓN FITNESS Y LA FUNCIÓN COMPARACIÓN DE MATERIALES.

En las gráficas siguientes se observa la función fitness para cada una de las salas que se han ajustado con la herramienta automática en la columna de la izquierda y su valor diferencia de materiales en la columna de la derecha.





Gráficas 3.1 La columna de la izda. Muestra los valores fitness con todos los parámetros para cada ajuste y la columna de la dcha. Muestra el valor diferencia de materiales para distintas comparaciones entre los ajustes.

- **BALUARTE:**

En esta sala se observa un ajuste manual muy bueno, casi idéntico a los ajustes automáticos. El ajuste visual se ve que no es lo suficientemente bueno para que con una variación del 50% de los materiales en su ajuste automático, converja. En altas frecuencias no llega este ajuste al fitness límite.

El resto de ajustes automáticos junto con el manual tienen la misma forma, es decir, son ajustes iguales en cuanto a fitness, por lo que el ajuste que parte del manual (AMA) apenas a mejorado por el hecho de aplicarle un ajuste automático.

Si nos fijamos en la gráfica de comparación de materiales, se observa que los ajustes que más diferencias presentan entre sí, son todos los que se comparan con el AVA100, lo que era de esperar. Esto es debido a que los coeficientes de absorción de los materiales pueden tomar cualquier valor entre 0-1.

- **BRETÓN:**

En esta sala se observa que el ajuste visual, aun habiendo elegido los materiales de manera tan inexacta, proporciona bastante buen resultado en cuanto a fitness (Muy parecido al ajuste manual). Este ajuste visual permite al ajuste automático que parte de él con 50% de variación de los coeficientes de absorción, un buen ajuste.

El AVA50 es prácticamente igual al AMA, en cuanto a fitness, esto es debido a que los ajustes de los que parten son muy parecidos. La mayor diferencia la presentan en la banda de 125Hz.

En esta sala el ajuste automático partiendo del visual con el 100% de variación de los coeficientes de absorción, es el que mejores resultados da en cuanto a valor fitness.

Si nos fijamos en la diferencia de los materiales, se ve que los ajustes que más se diferencian entre ellos son los que se comparan con el AVA100 igual que en la sala Baluarte.

- **GAYARRE:**

En esta sala se observa un pico en la frecuencia de 250Hz en el ajuste visual el cual no son capaz de ajustar el AVA50, debido una vez más a que la variación permitida no es suficiente para llegar a ajustarlo.

Se observa que para el ajuste AVA100 tampoco llega a ajustarse al límite, en dicha frecuencia. Incluso con las 30 generaciones que se han dejado simular, han valido para llegar a ajustarlo hasta el límite.

En este caso no se observa que el ajuste AVA100 sea el que mejor resultados nos proporciona, sino el ajuste manual automático. Se podría decir que el ajuste manual es un ajuste muy bueno.

En cuanto a diferencia de materiales se observa que en todos los casos los materiales son muy parecidos. En este caso será necesario un mayor número de generaciones para que el ajuste automático con el 100% de variación converja a la solución límite.

- KURSAAL:

En esta sala el ajuste visual no es muy bueno pero sin embargo el AVA50 ha convergido a una solución igual de buena que el ajuste automático que parte de un ajuste bueno (AMA).

El ajuste AMA apenas presenta mejoras en cuanto a fitness en comparación con el ajuste del que parte, por lo que se puede decir que el ajuste manual ya era una muy buena solución.

En esta sala se observa que el AVA100 es la mejor solución en cuanto a fitness global.

Si se ven la diferencia de los materiales para esta sala. Se vuelve a observar que las diferencias más significativas están en los ajustes que se comparan con AVA100.


- MOZART:

En esta sala sucede lo mismo que lo que se ha comentado en la sala Gayarre, El ajuste visual es muy bueno y sin embargo los ajustes que parten de él no llegan a converger al límite en la banda de 1000 Hz.

Si nos fijamos en el ajuste manual en este caso es mejor que los dos ajustes automáticos que parten del visual. Si nos fijamos en el ajuste automático que parte de el ajuste manual (AMA) no se observa ninguna mejora exceptuando la banda de 8000 Hz.

Pasando a comparar las diferencias de materiales, vemos que los ajustes que se comparan con el AVA100 en este caso tampoco presentan diferencias en sus materiales incluso vemos que el ajuste AVA50 Y AVA100 son prácticamente iguales.

Lo que se deduce en este caso también es que le habrían hecho falta más generaciones para que los ajustes que parten del visual convergieran al límite.



CAPÍTULO 4 Conclusiones finales y líneas futuras.

4.1. CONCLUSIONES.

El objetivo principal de este proyecto era el de analizar las funcionalidades de una herramienta ("Genetic Material Optimizer") de optimización de coeficientes de absorción. Este análisis se ha realizado sobre una sala test (Conservatorio de Navarra).

Para alcanzar este objetivo principal, se han ido realizando distintos ajustes de la sala cambiando algunos parámetros que nos permitía la herramienta y comparando los resultados de cada estudio mediante una función fitness. También se ha realizado la comparación de los ajustes automáticos con los manuales para evaluar la efectividad de dicha herramienta.

Los análisis en los que se ha centrado este proyecto son los siguientes:

De forma más general:

- Ajustes manuales de la sala test.
- Evaluación de la capacidad de la función fitness para comparar dos ajustes distintos y evaluar la función fitness con distinto conjunto de parámetros.
- Evaluación de la variación de un ajuste con distinto número y posición de receptores.

Los análisis más centrados en la herramienta automática son los siguientes:

- Variación del número de generaciones que se le deja correr a un ajuste.
- Variación del método de cruce.
- Variación del método de evolución.
- Variación del número de individuos.
- Distintos ajustes automáticos de la sala partiendo de ajustes distintos.

Las conclusiones que se alcanzan de la realización de todos los estudios realizados, son los siguientes:

- Dos ajustes manuales distintos, con individuos distintos como solución, nos pueden dar resultados parecidos.
- Para realizar una comparación de dos ajustes distintos, se podrá realizar mediante la función fitness de manera más exacta que mirando las gráficas promedio.
- Cuantos más parámetros se introduzcan en la función fitness, más parámetros intentará ajustar la herramienta. Si uno de los parámetros es muy cambiante por algún motivo y se intuye que Odeon no será capaz de simularlo, es conveniente eliminarlo del ajuste para que permita ajustar todos los demás sin consumir demasiados recursos.

- Con el número de receptores establecido por la ISO 3382, elegidos de forma estratégica valdrá para realizar un buen ajuste de la sala.
- 5 generaciones podrían valer para ajustar la sala. Con 30 se puede asegurar que ya no habrá mejoras. Se pueden dejar más generaciones aunque sabiendo que el tiempo y el coste de computación son mayores sin mejoras apreciables.
- Las diferencias en la variación del método de cruce son apenas imperceptibles.
- En cuanto al método de evolución, para un número suficiente de generaciones todos los métodos convergen a la misma solución en cuanto a fitness. Los materiales tampoco se diferenciarán demasiado. Sin embargo, para un número menor de generaciones es preferible elegir un método de evolución que limite a los mejores individuos, y no haga esta selección de manera aleatoria.
- En cuanto al número de individuos por generación, es preferible tener menos individuos y más generaciones en los casos en los que la selección no se haga de forma aleatoria, aunque las diferencias que se han apreciado no son significativas.
- El ajuste automático para todos los casos mejora el resultado del que parte.
- El ajuste automático partiendo de una situación muy desajustada, como puede ser la primera aproximación, y solo con el 50% de variación del coeficiente de absorción, puede ser que no converja a una buena solución.
- Si el ajuste automático parte de una situación ajustada previamente de forma manual, siempre la mejorará y proporcionará buenos resultados.
- El ajuste automático con el 100% de variación del coeficiente de absorción proporciona muy buenos resultados en cuanto a fitness, pero lo hace a costa de elegir materiales irreales. No podría considerarse una buena solución.
- Se ha observado también que se tienen soluciones muy iguales en cuanto a valor fitness, pero sin embargo utilizando soluciones diferentes en cuanto a materiales, lo que hace sospechar que la sala puede ser que esté cumpliendo las condiciones de campo difuso.
- Se observa que todos los ajustes automáticos convergen a una solución límite que parece que no se puede mejorar para los análisis que se han realizado. Esto es debido a la incertidumbre de las medidas y la incapacidad de la herramienta de ajustar a una curva tan variante.

Finalmente después de conocer mejor como funciona dicha herramienta se ajustan de manera automática 5 salas (Baluarte, Bretón, Gayarre, Kursaal y Mozart) y se comparan con los ajustes manuales. Con la realización de estos ajustes se observa que hay casos en los que con 30

generaciones no bastan para que el ajuste que parte de un ajuste visual con el 100% de variación de los materiales, converja a la situación límite.

Como se ha visto con la realización de este proyecto, los algoritmos genéticos aplicados a la optimización de coeficientes de absorción, presenta la ventaja de proporcionar soluciones aceptables y en un tiempo más reducido que la manera tradicional, con un complejo espacio de búsqueda.

Sin embargo, se han visto ciertas limitaciones, como la de terminar en una convergencia prematura con resultados no satisfactorios y el inconveniente de necesitar conocimientos y pericia para poder utilizar la herramienta de forma adecuada.

4.2. LÍNEAS FUTURAS.

Sería recomendable seguir el análisis realizando los ajustes con solo un parámetro en la función fitness.

Un estudio que se consideraría interesante de realizar sería el de obtener una sala de la cual solo se desconozca uno de los materiales.

Se podría seguir el estudio eligiendo una sala más pequeña, donde no se cumplan las condiciones de campo difuso donde importe la situación de cada uno de los materiales. Para este estudio habría que tener en cuenta que el software de simulación acústica de Odeon no funciona igual de bien en recintos pequeños.

REFERENCIAS

- [1] Tomassini, M. (1995). A survey of genetic algorithms. *Annual Reviews of Computational Physics*, III: 87-118.
- [2] Rechenberg, I (1973). *Evolutionsstrategie: Optimierung technische Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*. Frommann-Holzboog, Stuttgart.
- [3] Fogel, L.J., Owens, A.J., and Walsh, M.J. (1966). *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*. John Wiley and Sons, New York.
- [4] Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Universitu of Michigan Press, Ann Arbor. Republished by the MIT press, 1992.
- [5] Goldberg, D.E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.
- [6] Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. John Murray, London.
- [7] Claus L. Christensen, George Koutsouris and Jens H. Rindel. Forum Acusticum 7-12 September (2014), Kraków. *Estimating absorption of materials to match room model against existing room using a genetic algorithm*. Odeon A/S, Kgs. Lyngby, Denmark.
- [8] Claus Lynge Christensen and George Koutsouris (2015). *User's Manual Odeon*, Version 13, Full user's manual.